

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2001 年 5 月 25 日 (25.05.2001)

PCT

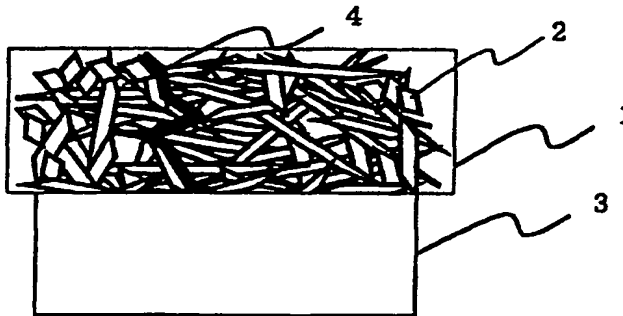
(10) 国際公開番号  
WO 01/37609 A1

- (51) 国際特許分類: H04R 17/00, 29/00 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP00/07981
- (22) 国際出願日: 2000 年 11 月 10 日 (10.11.2000)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (72) 発明者; および
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 両角英樹 (MOROZUMI, Hideki) [JP/JP]; 〒639-1014 奈良県大和郡山市西岡町2-26 パルコート305 Nara (JP). 別荘大介 (BESSYO, Daisuke) [JP/JP]; 〒635-0833 奈良県北葛城郡広陵町馬見南6-1-12-102 Nara (JP). 黄地謙三 (OHJI, Kenzo) [JP/JP]; 〒630-0221 奈良県生駒市さつき台1-680-72 Nara (JP). 長井 彪 (NAGAI, Takashi) [JP/JP]; 〒636-0093 奈良県北葛城郡河合町大輪田1673-4 Nara (JP).
- (30) 優先権データ:  
特願 平 11/322564 1999 年 11 月 12 日 (12.11.1999) JP  
特願 平 11/326339 1999 年 11 月 17 日 (17.11.1999) JP  
特願 2000/164276 2000 年 6 月 1 日 (01.06.2000) JP  
特願 2000/303341 2000 年 10 月 3 日 (03.10.2000) JP  
特願 2000/303342 2000 年 10 月 3 日 (03.10.2000) JP  
特願 2000/317451 2000 年 10 月 18 日 (18.10.2000) JP
- (74) 代理人: 山本秀策 (YAMAMOTO, Shusaku); 〒540-6015 大阪府大阪市中央区城見一丁目2番27号 クリスタルタワー15階 Osaka (JP).

[続葉有]

(54) Title: ACOUSTIC MATCHING MATERIAL, METHOD OF MANUFACTURE THEREOF, AND ULTRASONIC TRANSMITTER USING ACOUSTIC MATCHING MATERIAL

(54) 発明の名称: 音響整合部材、その製造方法およびそれを用いた超音波送受信器



(57) Abstract: An acoustic matching material (1) is used to match the acoustic impedance of a first object to that of a second object when sound is transmitted from the first object to the second object. The acoustic matching material (1) includes a plurality of minute pieces (2), at least one of which is coupled to another piece (2) to form a gap in the acoustic matching material (1).

(57) 要約:

WO 01/37609 A1

音響整合部材 1 は、第 1 物体から第 2 物体に音を伝播させる場合において、第 1 物体の音響インピーダンスと第 2 物体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される。音響整合部材 1 は、複数の微小片 2 を含み、複数の微小片 2 のうち少なくとも 1 つは、音響整合部材 1 に空隙を形成するように、複数の微小片 2 のうち他の少なくとも 1 つとの接触箇所で接合されている。

BEST AVAILABLE COPY



(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 音響整合部材、その製造方法およびそれを用いた超音波送受信器

## 5 技術分野

本発明は、ある物体から他の物体に音を伝播させる場合において、2つの物体の音響インピーダンスの整合をとる音響整合部材、その音響整合部材の製造方法、および、その音響整合部材を用いた超音波送受信器に関する。

## 10 背景技術

物体の音響インピーダンスは、(密度×音速)で求められる。空気の音響インピーダンス $Z_{AIR}$ は約 $428 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ であり、超音波を発生する圧電振動子の音響インピーダンス $Z_{PZT}$ は約 $30 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ である。

15 圧電振動子から空气中へ超音波を放射する場合、圧電振動子の音響インピーダンス $Z_{PZT}$ と空気の音響インピーダンス $Z_{AIR}$ との差異によって音の反射が発生し、音の放射効率が低下する。

音響整合部材は、圧電振動子の音響インピーダンス $Z_{PZT}$ と空気の音響インピーダンス $Z_{AIR}$ との整合をとることにより、音の放射効率が低下することを改善するために用いられる。

20 音響整合部材の音響インピーダンス $Z_M$ は、理論計算から、(式1)に従って求められる。

$$Z_M = \sqrt{(Z_{PZT} \times Z_{AIR})} \cdots (式1)$$

ここで、値 $Z_M$ は、音の反射がない状態になる理想値である。上述した $Z_{PZT}$ の値および $Z_{AIR}$ の値を用いると、値 $Z_M$ は約 $0.11 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ となる。

25 図29は、音響整合部材の音響インピーダンスと圧電振動子から空气中に放射

される音のエネルギーの割合（透過の割合）との関係を示した特性図である。図 29 から、音響整合部材の音響インピーダンスが約  $0.11 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  である場合に、透過の割合が 1 となり音の反射がない状態となることがわかる。

このような理想的な音響インピーダンスを有する音響整合部材を得るためには、  
5 その音響整合部材の材料として、密度が小さく、かつ、音速が遅い材料を選択することが必要である。

図 30 は、従来の音響整合部材の構成例を示す。図 30 に示される音響整合部材は、樹脂材料 120 にガラスバルーン 121 を混合し、その混合物を固めることにより得られる。

10 ガラスバルーンは中空であるので、非常に軽いという特徴がある。樹脂材料にガラスバルーンを混合しその混合物を固めることにより得られる構造体は、樹脂材料だけを固めることにより得られる構造体に比べて、密度が小さくなる。また、ガラスバルーンの大きさは、音響整合部材を伝播する振動（音）の波長よりも、十分小さい（およそ振動の波長の  $1/10$  以下）値に設定されている。振動伝播  
15 に影響を与えにくくするためである。

音速がおよそ  $2300 \text{ m/s}$  であり、かつ、密度が  $1.2 \text{ g/cm}^3$  である樹脂材料に、真密度  $0.13 \text{ g/cm}^3$  のガラスバルーン（住友スリーエム株式会社「スコッチライトTMグラスバブルズフィラー」で入手できる）を混合しその混合物を固めると、密度  $0.56 \text{ g/cm}^3$ 、音速  $2100 \text{ m/s}$  の構造体得  
20 られる。このようにして得られた構造物の音響インピーダンス  $Z_{\text{com}}$  は  $1.18 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  となる。

また、特開平 2-177799 号公報には、ガラスの中空球体だけを用いて音響整合部材を形成することが示されている。この音響整合部材は、ガラスの中空球体が軟化する温度まで中空球体を加熱し、中空球体を圧縮し、複数の中空球体  
25 をそれぞれの接触点で互いに結合することにより製造される。ガラスの中空球体としては、住友スリーエム株式会社「スコッチライトTMグラスバブルズフィラ

一」が用いられている。このようにして製造される音響整合部材は、音速900 m/s、かつ、音響インピーダンス $Z_{bc}$ 約 $0.45 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ という特性を持つことが特開平2-177799号公報に明記されている。物体の音響インピーダンスは（音速×密度）で表されるので、この音響整合部材の密度は0.5 g/cm<sup>3</sup>となる。

このように、ガラスの音速は5000～6000 m/sであるが、ガラスの中空球体を用いて音響整合部材を製造することにより、音響整合部材の音速は900 m/sまで下がる。

音響整合部材は、振動子または振動子を収納したケースにエポキシなどの樹脂材料を用いた接着剤で接着され得る。なお、特開平2-177799号公報では、複数の中空球体が軟化する温度まで複数の中空球体を加熱し、複数の中空球体をそれぞれの接触点で互いに結合するとともに、音響整合部材を振動子に接着する例が述べられている。このような接着方法によれば、音響整合部材はガラスだけで形成されるため、樹脂材料を用いて音響整合部材を形成する場合に比べて、温度特性に優れた音響整合部材が得られる。これは、ガラスの熱膨張率が樹脂材料の熱膨張率より小さいからである。超音波送受信器を用いて気体の流量を測定する場合には、超音波送受信器の温度特性は測定精度に大きく影響する。従って、微小流量の気体を正確に測定するためには、超音波送受信器の温度特性は小さくなければならない。

気体の種類によっては、爆発性のあるものがある。このような気体に電気信号を与える必要のある振動子は、ケースに収納される必要がある。振動子が気体に触れないようにするためである。ケースの材料が満たすべき条件としては、割れにくい強度を有する材料であること、かつ、温度特性がよい材料であることが挙げられる。このことから、ケースの材料としては金属が望ましい。金属の熱膨張率とガラスの熱膨張率とは異なるので、特開平2-177799号公報に述べられている方法のように、複数の中空球体が軟化する温度に複数の中空球体を加熱

し、複数の中空球体をそれぞれの接触点で互いに結合する段階で、金属ケースと音響整合部材とを接着しようとしても剥離が生じて接合しない。

5 上述した音響整合部材の音響インピーダンス  $Z_{BG}$  と  $Z_{COM}$  とを、図 29 の特性図上にプロットすると、 $Z_{BG}$  は記号▲に位置し、 $Z_{COM}$  は記号■に位置する。透過の割合は  $Z_{BG}$  の場合が 0.21、 $Z_{COM}$  の場合が 0.05 である。このように、 $Z_{BG}$  の場合の透過の割合（すなわち、音の透過率）は、 $Z_{COM}$  の場合に比べて、4 倍となる。しかし、実際には 4 倍の出力を得られることはなく、両者ともほぼ同等なレベルである。これは  $Z_{BG}$  を得る構造体は、 $Z_{COM}$  を得る構造体と比較して、その音響整合部材を伝播している最中に音が減衰しやすいことにあると考えられる。反対に  $Z_{COM}$  を得る構造体はその音響整合部材を伝播している最中の音の減衰は小さいが、 $Z_{BG}$  を得る構造体と比較して、音速が速いため音響インピーダンスが大きくなり、音が空気中へ放射されるとき反射が大きくなる。

15 結局、実際の両音響整合部材の音の出力の大きさには大差がない。このため、 $Z_{BG}$  や  $Z_{COM}$  を得る構造体の音響整合部材より、音の出力が大となる音響整合部材が求められている。 $Z_{BG}$  を得る構造体の音の減衰が大きい原因は、中空球体がそれぞれの接触点で結合しているため、接触点が少ないことが考えられる。

以上に述べたように、従来の超音波送受信器には次のような問題点がある。

第 1 に、音響整合部材に樹脂を用いると、その温度特性のため超音波送受信器の測定精度が良くない。

20 第 2 に、音響整合部材をガラスの中空球体だけで形成すると、中空球体のそれぞれの接触点が少ないことが原因で、音の減衰が大きくなる。

第 3 に、振動子が気体と触れないように振動子を金属ケースに収納した場合に、音響整合部材を金属ケースにエポキシなどの樹脂材料を用いた接着剤で接着すると、接着剤の温度特性のために超音波送受信器の測定精度が悪くなる。

25 第 4 に、複数の中空球体が軟化する温度まで複数の中空球体を加熱し、複数の中空球体をそれぞれの接触点で互いに結合する段階で、金属ケースと音響整合部

材とを接着しようとしても金属ケースの熱膨張率と中空球体の材料であるガラスの熱膨張率が異なるので剥離して接合しない。また、それらを接合した場合でも反りが生じて、振動子の振動が伝わらない。

5 本発明は、上述した第1から第4の問題点を解決するためになされたものである。

#### 発明の開示

本発明の音響整合部材は、第1物体から第2物体に音を伝播させる場合において、前記第1物体の音響インピーダンスと前記第2物体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材であって、前記音響整合部材は、複  
10 数の微小片を含み、前記複数の微小片のうち少なくとも1つは、前記音響整合部材の空隙を形成するように、前記複数の微小片のうち他の少なくとも1つとの接触箇所  
で接合されている。

前記複数の微小片のそれぞれは、不定形な立体構造を有していてもよい。

15 前記複数の微小片は、前記音が前記音響整合部材を直線的に伝播しないように配置されていてもよい。

前記複数の微小片のそれぞれは、ガラスまたはセラミックで作られていてもよい。

本発明の製造方法は、第1物体から第2物体に音を伝播させる場合において、  
20 前記第1物体の音響インピーダンスと前記第2物体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材を製造する製造方法であって、(a) 複数の微小片を形成するステップと、(b) 前記複数の微小片の材料が軟化する温度まで前記複数の微小片を加熱することにより、前記音響整合部材に空隙が形成されるように、前記複数の微小片のうち少なくとも1つを前記複数の微小片のうち  
25 ち他の少なくとも1つとの接触箇所  
で接合するステップとを包含する。

前記ステップ(b)は、前記複数の微小片に荷重をかけつつ前記複数の微小片

を加熱するステップを包含してもよい。

前記ステップ（a）は、前記複数の微小片と液体とを混合するステップと、前記複数の微小片と前記液体との混合物から前記液体を蒸発させるステップとを包含してもよい。

5 前記液体の比重は、前記微小片の比重より小さくてもよい。

前記液体の蒸発は、前記複数の微小片が前記液体に沈殿した後に行われてもよい。

前記複数の微小片は、複数の中空球体を粉砕することによって形成されてもよい。

10 前記音響整合部材の密度は、前記複数の中空球体を粉砕する度合によって制御されてもよい。

前記複数の中空球体を粉砕する度合は、前記複数の中空球体を粉砕する前の前記複数の中空球体の体積と前記複数の中空球体を粉砕した後の前記複数の微小片の体積との比によって表されてもよい。

15 本発明の超音波送受信器は、振動子と、前記振動子を収納する金属ケースと、前記振動子の音響インピーダンスと前記金属ケースの外部を流れる流体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材と、前記音響整合部材と前記金属ケースとを接合する接合部材とを備え、前記音響整合部材は、複数の微小片を含み、前記複数の微小片のうち少なくとも1つは、前記音響整合部材  
20 に空隙を形成するように、前記複数の微小片のうち他の少なくとも1つとの接触箇所  
で接合されており、前記接合部材は、前記金属ケースの熱膨張率と前記音響整合部材の熱膨張率との差を緩和するように構成されている。

前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層と、前記第1層の上に形成された第2層と、前記第2層の上に形成された第3層とを含み、前記第1  
25 層は銀ロウで作られており、前記第2層はチタンで作られており、前記第3層は銀ロウで作られていてもよい。



前記接合部材は、前記第3層の上に形成された第4層と、前記第4層の上に形成された第5層とをさらに含み、前記第4層はセラミック板またはガラス板であり、前記第5層は前記第4層の材料より融点の低いガラスで作られていてもよい。

5 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層を含み、前記第1層は、銀ロウの粉末とチタンの粉末とを混合することによって得られる混合物に基づいて形成されていてもよい。

前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層を含み、前記第1層は、銀ロウの粉末とチタンの粉末とセラミックの粉末とを混合することによって得られる混合物に基づいて形成されていてもよい。

10 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層と、前記第1層の上に形成された第2層とを含み、前記第1層と前記第2層との接合面は凹凸形状を有していてもよい。

前記第1層は、前記金属ケースの上に断続的に形成されていてもよい。

15 前記第1層は、前記第1層の材料の熱膨張率より小さい熱膨張率を有する複数の粒子を含んでいてもよい。

前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層と、前記第1層の上に形成された第2層とを含み、前記第1層は、酸化または窒化または炭化しやすい第1材料の第1粒子と前記第1材料より比重が重く融点が高い第2材料の第2粒子とを含む混合物を加熱することにより前記第2材料の層として形成され、前記第2層は、酸化または窒化または炭化された前記第1材料の膜として前記第2材料の層の上に形成されてもよい。

20

前記第1材料の熱膨張率は、前記第2材料の熱膨張率より小さくてもよい。

前記混合体を加熱する温度は、前記第1材料の融点より低く、かつ、前記第2材料の融点より高い温度であってもよい。

25 前記第1粒子の大きさは、150  $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。

## 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施の形態 1 の音響整合部材 1 の断面を示す図である。

図 2 は、本発明の実施の形態 2 の音響整合部材 5 の断面を示す図である。

図 3 は、本発明の実施の形態 3 の音響整合部材 7 の断面を示す図である。

5 図 4 は、音響整合部材の音の出力を測定する測定装置の構成を示す図である。

図 5 は、試験用の音響整合部材 11 として音響インピーダンス  $Z_{COM}$  を有する従来の音響整合部材を用いた場合における測定結果を示す図である。

図 6 は、試験用の音響整合部材 11 として音響インピーダンス  $Z_{DVE}$  を有する音響整合部材 7 を用いた場合における測定結果を示す図である。

10 図 7 は、本発明の実施の形態 4 の製造装置の構成例を示す図である。

図 8 は、図 7 に示される製造装置を用いて音響整合部材を製造する製造方法の手順を示すフローチャートである。

図 9 は、微小片 21 の集合体を固形化することにより形成された音響整合部材 30 の断面を示す図である。

15 図 10 は、本発明の実施の形態 5 の製造方法を説明するための図である。

図 11 は、本発明の実施の形態 6 の複数の微小片を形成する方法を説明するための図である。

図 12 は、本発明の実施の形態 6 の複数の微小片を形成する方法を説明するための図である。

20 図 13 は、粉碎されなかった微小中空球体 31 と微小片 34 とを選別する方法を説明するための図である。

図 14 A は、 $h_2/h_1 = 0.5$  の場合に得られる微小片 34 の形状を示す図である。

25 図 14 B は、 $h_2/h_1 = 0.33$  の場合に得られる微小片 34 の形状を示す図である。

図 14 C は、 $h_2/h_1 = 0.2$  の場合に得られる微小片 34 の形状を示す図

である。

図 1 5 は、 $h_2/h_1$  と音響整合部材の密度との関係と、 $h_2/h_1$  と音の減衰比率との関係とを示す図である。

5 図 1 6 は、 $h_2/h_1 = 0.33$  の場合に得られる複数の微小片 3 4 を用いて形成された音響整合部材の断面を示す図である。

図 1 7 は、本発明の実施の形態 7 の超音波送受信器の構成例を示す図である。

図 1 8 は、接合部材 5 2 の構成の一例を示す図である。

図 1 9 は、接合部材 5 2 の構成の他の一例を示す図である。

図 2 0 は、接合部材 5 2 の構成の他の一例を示す図である。

10 図 2 1 は、接合部材 5 2 の構成の他の一例を示す図である。

図 2 2 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の構成例を示す図である。

図 2 3 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の他の構成例を示す図である。

15 図 2 4 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の他の構成例を示す図である。

図 2 5 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の他の構成例を示す図である。

図 2 6 は、本発明の実施の形態 9 の接合方法の手順を示すフローチャートである。

20 図 2 7 は、図 2 6 に示される手順に従って音響整合部材 6 4 と金属ケース 6 2 とを接合することによって得られた超音波送受信器の主要部の断面を示す図である。

図 2 8 A は、音響整合部材 1 に空隙を形成するための微小片 2 (微小片 2 0 1 ~ 2 0 3) の接触状態の一例を示す図である。

25 図 2 8 B は、音響整合部材 1 に空隙を形成するための微小片 2 (微小片 2 0 4 ~ 2 0 7) の接触状態の一例を示す図である。

図28Cは、音響整合部材1に空隙を形成するための微小片2（微小片208～212）の接触状態の一例を示す図である。

図29は、音響整合部材の音響インピーダンスと圧電振動子から空气中に放射される音のエネルギーの割合（透過の割合）との関係を示した特性図である。

5 図30は、従来の音響整合部材の構成例を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。

##### （実施の形態1）

10 図1は、本発明の実施の形態1の音響整合部材1の断面を示す。音響整合部材1は、振動子3に取り付けられている。

音響整合部材1は、第1物体（例えば、振動子3）から第2物体（例えば、空気）に音を伝播させる場合において、第1物体の音響インピーダンスと第2物体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される。

15 音響整合部材1は、複数の微小片2を含む。複数の微小片2のそれぞれは、平面を有する構造を有している。複数の微小片2のそれぞれは、他の少なくとも1つの微小片2に接触箇所にて接合されている。

この接触箇所の接触状態は、点状でも線状でも面状でも構わない。必要なのは、複数の微小片2が互いに接合されることによって音響整合部材1に空隙が形成されることである。図1に示されるように、微小片2を不規則に配置することにより、音響整合部材1に空隙を形成することができる。

図28A～図28Cは、それぞれ、音響整合部材1に空隙を形成するための微小片2（微小片201～212）の接触状態の一例を示す。

25 図28Aに示される例では、微小片201の頂点と微小片202の平面部分とを接触させた状態で微小片201と微小片202とが互いに接合される。微小片201の他の頂点と微小片203の平面部分とを接触させた状態で微小片201

と微小片 203 とが互いに接合される。微小片 202 の薄い平面部分と微小片 203 の厚い平面部分とを接触させた状態で微小片 202 と微小片 203 とが互いに接合される。このように、微小片 201 ~ 203 を互いに接合することによって空隙が形成される。

5      図 28B に示される例では、微小片 204 ~ 207 のそれぞれの平面部分を部分的に接触させた状態で微小片 204 ~ 207 が互いに接合される。このように、微小片 204 ~ 207 を互いに接合することによって空隙が形成される。

10      図 28C に示される例では、微小片 208 ~ 212 のそれぞれの平面部分を接触させた状態で微小片 208 ~ 212 が互いに接合される。このように、微小片 208 ~ 212 を互いに接合することによって空隙が形成される。

15      以上のように、微小片 2 が平面状の形状を有している場合でも、複数の微小片 2 を互いに接合することによって空隙を形成することができる。この場合、微小片 2 の配置を不規則にするとともに、微小片 2 の大きさも不規則にすることによって空隙を容易に形成することができる。なお、微小片 2 の接触箇所の状態は、点接触でも、線接触でも、面接触でも構わない。

20      複数の微小片 2 は、振動子 3 の振動（音）が音響整合部材 1 の中を直線的に伝播しないように配置されている。このため、音の伝播経路 4 は、直線的な経路ではなく、曲がりくねった経路となる。その結果、音響整合部材 1 の中を伝播経路 4 に沿って伝播する音の総合的な速さは、微小片 2 の材料が有する固有の音速よりも遅くなる。

25      例えば、微小片 2 がガラスで作られる場合には、ガラスが有する固有の音速は約 5000 m/s であるが、図 1 に示される構造を有する音響整合部材 1 の音速は 5000 m/s よりも遅くなる。さらに、図 1 に示すように、音響整合部材 1 には空隙があるので、音響整合部材 1 の密度は、微小片 2 の材料と同じ材料で作られた同じ大きさの個体の密度よりも小さくなることは明らかである。物体の音響インピーダンスは（密度×音速）で表されることから、音響整合部材 1 の音響

インピーダンスを小さな値とすることができる。

微小片2の材料としては、プラスチック、金属、ガラス、セラミックなどの材料を用いることができる。

振動子3の振動周波数を $\nu$ 、音速をCとすると、音の波長 $\lambda$ は、(式2)によって表される。

$$\lambda = C / \nu \cdots \text{(式2)}$$

ここで、音速Cは音響整合部材1を伝播する音の速度を示す。今、仮に音響整合部材1をガラスの固まりとして形成したとすると、ガラスの音速は約5000 m/sであるので、振動子3の振動周波数 $\nu$ を500 kHzとすると、音の波長 $\lambda$ は10 mmとなる。音響整合部材1をガラスの微小片2の集合体として形成すると、音響整合部材1の音速は、ガラスの音速約5000 m/sより遅くなる。例えば、音響整合部材1の音速が1000 m/sであると、 $\nu$ を500 kHzのとき音の波長 $\lambda$ は2 mmとなる。

音響整合部材1の中にできる空隙が、音の伝播に影響を与えにくくするためには、その空隙の大きさを伝播する音の波長に比べて十分小さくしておく必要がある。この空隙の大きさを、音の波長の1/10以下の200  $\mu$ m以下にしようとする、微小片2の長さを200  $\mu$ m以下にしておくことが望ましい。また、音響整合部材1の密度を下げるためにも、微小片2の厚さは薄い方がよく、例えば、1  $\mu$ m程度の厚さのガラス板を用いることが望ましい。

なお、実施の形態1において、音響整合部材1に含まれるすべての微小片2が他の微小片2に接触箇所で接合されている必要はない。すなわち、音響整合部材1が他の微小片2に接触箇所で接合されていない微小片2を含んでいてもよい。音響整合部材1に含まれる複数の微小片2のうち少なくとも1つが他の少なくとも1つの微小片2に接触箇所で接合されている限り、上述した効果と同様の効果が得られる。

(実施の形態2)

図2は、本発明の実施の形態2の音響整合部材5の断面を示す。

音響整合部材5は、複数の微小片6を含む。複数の微小片6の少なくとも1つは、音響整合部材5に空隙を形成するように、他の少なくとも1つの微小片6に接触箇所にて接合されている。

5 実施の形態2では、複数の微小片6のそれぞれは、複数の突起部分を有する構造を有している。微小片6の突起部分が他の微小片6に接触し、その接触箇所にて微小片6が互いに接合される。このようにして、微小片6の突起部分の周りに空隙を形成することができる。また、微小片6に複数の突起部分を設けることにより、隣接する微小片6の接触箇所を複数にすることも可能である。これにより、  
10 1つの接触箇所にて接合するよりも、接合強度を強くすることができる。

複数の突起部分は、薄板上に設けられてもよいし、立方体上に設けられてもよい。これらの場合にも、微小片6の突起部分の周りに空隙を形成することができる。その結果、音響整合部材5の密度を低減しやすくなる。

15 なお、微小片6の接触箇所の状態は、点接触でも、線接触でも、面接触でも構わない。

音響整合部材5の動作、作用は、実施の形態1で説明した音響整合部材1の動作、作用と同様である。また、微小片6の大きさは上述したように200 $\mu$ m以下であることが望ましい。

(実施の形態3)

20 図3は、本発明の実施の形態3の音響整合部材7の断面を示す。

音響整合部材7は、複数の微小片8を含む。複数の微小片8の少なくとも1つは、音響整合部材7に空隙を形成するように、他の少なくとも1つの微小片8に接触箇所にて接合されている。

25 実施の形態3では、複数の微小片8のそれぞれは不定形の凹凸構造を有する薄板である。従って、複数の微小片8のそれぞれは不定形な立体構造を有していることとなる。微小片8の凸部または端部が他の微小片8に接触することにより、

接触箇所の周りに空隙を容易に形成することができる。また、微小片 8 に凹凸を設けることによって隣接する微小片 8 の接触箇所を複数にすることも可能である。これにより、1つの接触箇所で接合するよりも、接合強度を強くすることができる。なお、凹凸の数は、特定の数に限定されない。

5       なお、微小片 8 の接触箇所の状態は、点接触でも、線接触でも、面接触でも構わない。

音響整合部材 7 の動作、作用は、実施の形態 1 で説明した音響整合部材 1 の動作、作用と同様である。微小片 8 の凹凸の大きさは、上述したことと同様に、200  $\mu\text{m}$  以下であることが望ましい。凹凸構造を有する微小片 8 は、その厚さが  
10       できるだけ薄い板であることが望ましい。微小片 8 の厚さは、音響整合部材 7 の密度を低減するために、1  $\mu\text{m}$  程度が望ましい。

例えば、微小片 8 の材料としてガラスを用いた場合には、ガラスが軟化する温度まで複数の微小片 8 を加熱することにより、複数の微小片 8 を互いに結合させることが可能になる。

15       微小片 8 を加熱する温度をガラスが軟化する温度とすることにより、微小片 8 の凹凸構造は潰れずに存在することができる。微小片 8 の接触箇所では軟化したガラスどうしが結合するようになる。

微小片 8 に若干の荷重をかけつつ、微小片 8 を加熱することにより、微小片 8 の接触箇所での結合を強化することができる。微小片 8 が押さえつけられた状態で加熱により軟化するからである。  
20

さらに、微小片 8 にかかる荷重を増加させると、微小片 8 の凹凸構造が無くならない程度に押しつぶされた状態になる。この場合、微小片 8 の接触面積が増大するとともに、荷重により接触箇所での接合強度が増大する。これにより、微小片 8 の接合部分を伝播する音の減衰を小さくすることができる。

25       以上のように、微小片 8 にかかる荷重に応じて、微小片 8 の結合の強さを調整することができる。しかしながら、微小片 8 に荷重をかけると、音響整合部材 7



の密度は増大することとなる。その結果、音響整合部材 7 の音響インピーダンスは大きくなる。

図 3 に示される音響整合部材 7 は、700℃程度で軟化するガラスで作られた凹凸構造を有する微小片 8 の集合体を、700℃の温度で  $415 \text{ g/cm}^2$  の荷重をかけて形成した構造体である。この構造体の密度は約  $0.537 \text{ g/cm}^3$ 、音速は約  $1224 \text{ m/s}$ 、音響インピーダンス  $Z_{DEV}$  は  $0.657 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  となっている。この音響インピーダンス  $Z_{DEV}$  を図 29 に示した特性図に記号●でプロットする。この音響インピーダンス  $Z_{DEV}$  は、「背景技術」で述べた音響インピーダンス  $Z_{BG}$  と  $Z_{COM}$  との間に位置する。実際の音の透過の大きさを比較するために、図 4 に示される測定装置を用いて受信側の超音波センサの電圧を測定した。

図 4 に示されるように、試験用の音響整合部材 11 が超音波送信器 10 に取り付けられている。標準の音響整合部材 12 が超音波受信器 13 に取り付けられている。

超音波送信器 10 は、信号源 9 から出力される電圧に従って超音波を送信する。超音波受信器 13 は、超音波送信器 10 から送信された超音波を受信する。超音波受信器 13 によって受信された超音波は、超音波受信器 13 に接続された抵抗 14 の両端の電圧を測定することにより観測される。ここで、超音波送信器 10 と超音波受信器 13 との距離は約 10 mm としている。

図 5 は、試験用の音響整合部材 11 として図 30 を参照して説明した音響インピーダンス  $Z_{COM}$  を有する従来の音響整合部材を用いた場合における測定結果を示す。図 5 において、(a) は信号源 9 の電圧波形を示し、(b) は抵抗 14 の両端の電圧波形（すなわち、超音波受信器 13 の出力波形）を示す。

図 6 は、試験用の音響整合部材 11 として図 3 に示される音響インピーダンス  $Z_{DEV}$  を有する音響整合部材 7 を用いた場合における測定結果を示す。図 6 において、(a) は信号源 9 の電圧波形を示し（図 5 における (a) と同一の電圧波

形)、(b)は抵抗14の両端の電圧波形(すなわち、超音波受信器13の出力波形)を示す。

図5の(b)に示される電圧波形の振幅の最大値は23mV、図6の(b)に示される電圧波形の振幅の最大値は33mVである。このことから、音響インピーダンス $Z_{COM}$ を有する従来の音響整合部材より、音響インピーダンス $Z_{DVE}$ を有する音響整合部材7の方が出力レベルの点で勝っていることがわかる。

音響インピーダンス $Z_{BG}$ を有する従来の音響整合部材を用いた場合における測定結果は、音響インピーダンス $Z_{COM}$ を有する従来の音響整合部材を用いた場合における測定結果とほぼ同等である。このことから、音響インピーダンス $Z_{DVE}$ を有する音響整合部材7が、出力レベルの点で最も勝っていることがわかる。

音響インピーダンスの大きさのみを単純に考慮すると、音響インピーダンス $Z_{BG}$ を有する従来の音響整合部材が、出力レベルの点で最も勝っているべきである。しかし、実際の測定結果はそうにはなっていない。これは、音響インピーダンス $Z_{BG}$ を有する従来の音響整合部材よりも、音響インピーダンス $Z_{DVE}$ を有する音響整合部材7の方が微小片の集合体の結合が強く、音響整合部材を伝播するときの音の減衰が小さいためであると考えられる。これに対し、音響インピーダンス $Z_{BG}$ を有する従来の音響整合部材は、中空球体をマトリックスに組み、それぞれの中空球体の接触点で結合する構成を採用している。この構成では、接触点が少なく、かつ、その面積が小さいため、それぞれの中空球体の結合が弱いと考えられる。

#### (実施の形態4)

図7は、本発明の実施の形態4の製造装置の構成例を示す。この製造装置は、実施の形態1～3で説明した音響整合部材を製造するために使用される。

この製造装置は、複数の微小片21と液体22とを混合し、その混合体を成型するために使用される成型ケース23と、成型ケース23の一方の口を開閉するための底蓋24と、複数の微小片21と液体22との混合体を押すための押し棒

25とを含む。

成型ケース23は、例えば、テフロン製である。テフロンは滑りやすいため、成型後の混合体（成型品）を余計な力をかけずに成型ケース23から取り出すことができる。これにより、成型品を潰すことを防止できる。

5 底蓋24は、成型ケース23の一方の口に設けられている。底蓋24は、複数の微小片21と液体22との混合体が成型ケース23から漏れないように、混合体の成型が終了するまで閉じられている。底蓋24は、例えば、テフロン製の板であってもよいし、セロハンテープを成型ケース23の口に板状に貼ったものでもよい。

10 押し棒25は、成型ケース23の内壁に沿って移動可能であり、複数の微小片21と液体22との混合体を押すために使用される。混合体を押すことにより、混合体から液体22が取り除かれる。混合体を押す距離を調整することにより、複数の微小片21の密度を所望の密度に設定することが可能になる。押し棒25は、例えば、ステンレス製である。

15 微小片21は、例えば、立体構造を有するガラスで作られる。ここで、微小片21の立体構造は、特定の立体構造に限定されない。ただし、微小片21のかさ密度が微小片21の材料の密度より小さくなるように微小片21の材料を選択する必要がある。微小片21の材料の密度に比べて微小片21のかさ密度が小さいほど、微小片21の集合体に多くの空隙を設けることが可能になる。これにより、  
20 微小片21の集合体によって構成される音響整合部材の密度を小さくすることができる。

実施の形態4では、ガラスの微小片21の大きさは $100\mu\text{m}$ 以下で、その厚さは数 $\mu\text{m}$ である。ガラスの密度は $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ で、音速は約 $5000\text{m}/\text{s}$ である。しかし、微小片21を立体構造にしているので、微小片21の集合体  
25 のかさ密度は、ガラスの密度より小さくなる。なお、微小片21の材料としてセラミックや金属を用いてもよい。

液体 2 2 は、例えば、蒸留水である。水の比重は  $1 \text{ g/cm}^3$  である。なお、液体 2 2 として、PVA（ポリビニルアルコール）と水との混合液のように水より高い粘性を有する液体を用いてもよい。水より高い粘性を有する液体を用いることにより、微小片 2 1 と液体 2 2 との混合体の成型が終了した後でも、成型品の形を容易に維持することが可能になる。

図 8 は、図 7 に示される製造装置を用いて音響整合部材を製造する製造方法の手順を示す。

ステップ 2 6 では、混合処理が実行される。混合処理では、例えば、複数のガラスの微小片 2 1 と液体 2 2（例えば、蒸留水）とがビーカー内で十分にかき混ぜられる。その結果、複数の微小片 2 1 と液体 2 2 との混合体を作成される。ビーカー内でのかき混ぜを十分に行うことにより、複数の微小片 2 1 の混合体内での分布を殆ど均一とすることができる。液体 2 2 の量は任意に設定できる。ここでは、液体 2 2 の量は、複数の微小片 2 1 と液体 2 2 との混合体を十分に混ぜたときに、この混合体を成型ケース 2 3 に流し込むことが可能な量であると仮定する。

ステップ 2 7 では、成型処理が実行される。成型処理では、複数の微小片 2 1 と液体 2 2 との混合体が成型ケース 2 3 に入れられ、押し棒 2 5 によって混合体が押される。その結果、余分な液体 2 2 が成型ケース 2 3 から押し出される。これにより、微小片 2 1 の集合体の密度が調整される。微小片 2 1 の集合体の密度の調整は、成型ケース 2 3 に入れる複数の微小片 2 1 の総重量と、その総体積を設定することによって行われる。

ステップ 2 8 では、乾燥処理が実行される。乾燥処理では、液体 2 2 が沸騰しない温度で成型ケース 2 3 が加熱される。これにより、液体 2 2 を蒸発させる。

ステップ 2 9 では、成型品取り出し処理が実行される。成型品取り出し処理では、底蓋 2 4 が開けられ、押し棒 2 5 により微小片 2 1 の集合体を押し出すことにより、微小片 2 1 の集合体が成型ケース 2 3 から取り出される。

ステップ 3 0 では、加熱処理が実行される。加熱処理では、微小片 2 1 が軟化

する温度まで微小片 2 1 が加熱される。これにより、微小片 2 1 の集合体が固形化される。

図 9 は、微小片 2 1 の集合体を固形化することにより形成された音響整合部材 3 0 の断面を示す。図 9 において、矢印によって示される経路は音の伝播経路の 1 つを示している。

図 9 に示されるように、音響整合部材 3 0 を音が伝播する伝播経路の長さは音響整合部材 3 0 の厚さよりも大きい。これにより、音響整合部材 3 0 の音速を遅くすることができる。微小片 2 1 は立体的な構造を有しているので、空隙を作るとともに複数の接触箇所を持つことができる。従って、接触箇所が増えるので、接触面積が増えることとなり、微小片 2 1 どうしの結合を強くすることができる。また、微小片 2 1 と液体 2 2 とを十分にかき混ぜた混合体を用いて微小片 2 1 の集合体を成型するので、微小片 2 1 の分布を均一とすることが可能になる。その結果、音響整合部材 3 0 の密度むら、音速むらを抑えることができる。

#### (実施の形態 5)

本発明の実施の形態 5 の製造方法を説明する。この製造方法は、実施の形態 4 において図 8 を参照して説明した製造方法のバリエーションである。

図 8 のステップ 2 7 に示される成型処理において、複数の微小片 2 1 が沈殿した後、液体 2 2 を蒸発させるようにしてもよい。複数の微小片 2 1 に余計な荷重を加えることなく、重力に従って複数の微小片 2 1 を沈殿させることにより、荷重により生じる密度むらを小さくすることができる。

また、重さ、大きさの異なる複数の微小片 2 1 が存在する場合には、重力に従って重い微小片 2 1 から順に沈殿する。このようにして、密度が異なる複数の層を有する音響整合部材を作ることができる。

図 1 0 は、重さ、大きさの異なる複数の微小片 2 1 が沈殿した状態を示す。図 1 0 において、図 7 に示される構成要素と同一の構成要素には同一の参照番号を付し、その説明を省略する。

5       なお、液体 2 2 は、例えば、蒸留水である。液体 2 2 の量は、複数の微小片 2 1 が沈殿しやすいように、複数の微小片 2 1 の総体積よりも十分に多い量に設定される。蒸留水の密度は  $1 \text{ g/cm}^3$  であり、ガラスの密度  $2.2 \text{ g/cm}^3$  より小さい。従って、ガラスの微小片 2 1 を蒸留水に入れると、ガラスの微小片 2 1 は沈殿することとなる。

(実施の形態 6)

図 1 1 および図 1 2 を参照して、本発明の実施の形態 6 の複数の微小片を形成する方法を説明する。

10       金属ケース 3 2 および押し棒 3 3 は、例えば、ステンレス製である。しかし、金属ケース 3 2 および押し棒 3 3 の材質はこれに限定されない。

押し棒 3 3 は、金属ケース 3 2 の内壁に沿って移動可能であり、複数の微小中空球体 3 1 を押すことによって微小中空球体 3 1 を粉砕するために使用される。

15       図 1 1 は、複数の微小中空球体 3 1 を金属ケース 3 2 に収納した状態（押し棒 3 3 を押していない状態）を示す。図 1 1 において、 $h_1$  は、押し棒 3 3 を押していない状態での微小中空球体 3 1 の集合体の高さを示す。

微小中空球体 3 1 は、例えば、ガラスバルーン（住友スリーエム株式会社「スコッチライト TM グラスバブルズフィラー」）である。このガラスバルーンの真密度は  $0.13 \text{ g/cm}^3$  で、直径は  $100 \mu\text{m}$  前後で、厚さは数  $\mu\text{m}$  程度である。

20       図 1 2 は、図 1 1 に示される状態から押し棒 3 3 を高さ  $h_2$  まで押した状態を示す。押し棒 3 3 は、例えば、油圧プレスを利用して操作される。

押し棒 3 3 によって押された微小中空球体 3 1 は圧縮され、粉砕される。粉砕された微小中空球体 3 1 のかけら（微小片）は球体の一部である。このようにして、立体構造を有する微小片 3 4 を得ることができる。

25       微小中空球体 3 1 を粉砕することにより複数の微小片 3 4 を形成する工程は、例えば、図 8 に示される音響整合部材を製造する製造方法のステップ 2 6（混合

処理)の前に挿入され得る。

なお、金属ケース 3 2 に収納されたすべての微小中空球体 3 1 が粉碎されるとは限らない。粉碎されなかった微小中空球体 3 1 が存在する場合には、粉碎されなかった微小中空球体 3 1 と微小片 3 4 とを選別し、粉碎されなかった微小中空球体 3 1 を再利用することが好ましい。

図 1 3 は、粉碎されなかった微小中空球体 3 1 と微小片 3 4 とを選別する方法の一例を示す。

液体 3 5 は蒸留水である。蒸留水の密度 ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) は、微小中空球体 3 1 の密度 ( $0.13 \text{ g/cm}^3$ ) と微小片 3 4 の密度 ( $2.2 \text{ g/cm}^3$ ) との間である。従って、液体 3 5 より密度の小さい微小中空球体 3 1 は浮き、液体 3 5 より密度の大きい微小片 3 4 は沈むこととなる。このように、密度の違いを利用して、粉碎されなかった微小中空球体 3 1 と微小片 3 4 とを選別することができる。

図 1 4 A は、 $h_2/h_1 = 0.5$  の場合に得られる微小片 3 4 の形状を示し、  
図 1 4 B は、 $h_2/h_1 = 0.33$  の場合に得られる微小片 3 4 の形状を示し、  
図 1 4 C は、 $h_2/h_1 = 0.2$  の場合に得られる微小片 3 4 の形状を示す。

ここで、 $h_2/h_1$  (すなわち、複数の微小中空球体 3 1 を粉碎する前の複数の微小中空球体 3 1 の体積と複数の微小中空球体 3 1 を粉碎した後の複数の微小片 3 4 の体積との比) は、複数の微小中空球体 3 1 を粉碎する度合を表す。

図 1 4 A ~ 図 1 4 C に示されるように、複数の微小中空球体 3 1 を粉碎する度合を制御することによって、微小片 3 4 の大きさを制御することが可能になる。

図 1 5 は、 $h_2/h_1$  と音響整合部材の密度との関係と、 $h_2/h_1$  と音の減衰比率との関係とを示す。ここで、音響整合部材は、複数の微小片 3 4 を用いて形成されていると仮定する。なお、音の減衰比率が大きいほど音の出力が小さくなるものとする。

図 1 5 に示されるように、 $h_2/h_1$  を小さくするほど、音響整合部材の密度

は大きくなり、音の減衰比率は小さくなる。

$h_2/h_1$  を小さくするほど音響整合部材の密度が大きくなるのは、 $h_2/h_1$  を小さくするほど微小片 34 の大きさが小さくなるため、わずかな空隙でも微小片 34 が入りやすくなるためと考えられる。一方、 $h_2/h_1$  を小さくするほど音の減衰比率が小さくなるのは、微小片 34 が隙間なく入ることにより、微小片 34 どうしの接触部分が多くなり、微小片 34 どうしの結合が強くなるためと考えられる。

このように、 $h_2/h_1$  を制御することによって、音響整合部材の密度と音の減衰比率とを制御することが可能になる。

なお、図 15 に示される音響整合部材の特性は一例である。本発明の音響整合部材の特性をこれに限定するものではない。

図 16 は、 $h_2/h_1 = 0$  の場合 33 に得られる複数の微小片 34 を用いて形成された音響整合部材の断面を示す。

図 16 に示される音響整合部材の製造方法は、図 8 に示される製造方法と同様である。この音響整合部材は、密度  $0.55 \text{ g/cm}^3$ 、音速  $1400 \text{ m/s}$ 、音響インピーダンス  $0.77 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  となる。この音響整合部材は、特開平 2-177799 号公報に記載のガラスバルーンのみで形成される従来の音響整合部材に比べて、音響インピーダンスが大きいものの、音の減衰が小さいため、出力する音の大きさを大きくすることが可能である。

#### (実施の形態 7)

図 17 は、本発明の実施の形態 7 の超音波送受信器の構成例を示す。超音波送受信器は、超音波を利用して流体の流量を測定する流量計測装置や、物体との距離を測定する距離計測装置などに用いられる。

超音波送受信器は、振動子 43 と、振動子 43 を収納する金属ケース 41 と、振動子 43 の音響インピーダンスと金属ケース 41 の外部を流れる流体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材 40 と、音響整合部



材 4 0 と金属ケース 4 1 とを接合する接合部材 5 2 とを含む。

金属ケース 4 1 は、本体 4 1 a と、本体 4 1 a に溶接された蓋 4 1 b とを含む。

電極 4 5 は、導電性ゴム 4 4 を介して振動子 4 3 に電氣的に接続されている。

電極 4 5 と金属ケース 4 1 の蓋 4 1 b との間にはガラス 4 9 が封入されている。

5 ガラス 4 9 によって電極 4 5 と金属ケース 4 1 の蓋 4 1 b とは電氣的に絶縁されている。

電極 4 6 は、金属ケース 4 1 の蓋 4 1 b に電氣的に接続されている。電極 4 6 は接地される。

10 電極 4 5、4 6 には約 5 V の交流電圧が印加される。電極 4 5、4 6 に印加された電圧は、振動子 4 3 に印加されることになる。電極 4 5、4 6 に 5 0 0 k H z の交流電圧を印加することにより、振動子 4 3 が 5 0 0 k H z で振動する。振動子 4 3 の振動は、金属ケース 4 1 の本体 4 1 a に伝播し、金属ケース 4 1 の本体 4 1 a を振動させる。金属ケース 4 1 の本体 4 1 a の振動は接合部材 5 2 を介して音響整合部材 4 0 にさらに伝播し、音響整合部材 4 0 を振動させる。

15 音響整合部材 4 0 の役割は、振動子 4 3 の振動を金属ケース 4 1 の外部を流れる流体（例えば、気体）に効率よく伝播させることにある。

導電性ゴム 4 4 は、振動子 4 3 の振動が金属ケース 4 1 の蓋 4 1 b に伝わらないようにして、振動子 4 3 による振動のエネルギーが音響整合部材 4 0 に効率よく伝わるようにするための、振動の緩衝材としての役割も果たしている。

20 振動子 4 3 と導電性ゴム 4 4 とは、金属ケース 4 1 の内部に収められている。金属ケース 4 1 を用いることと、電極 4 5 と金属ケース 4 1 の蓋 4 1 b との間にガラス 4 9 を封入することにより、金属ケース 4 1 の内部への流体（例えば、気体）の浸入を確実に阻止することができる。その結果、振動子 4 3 の流体（例えば、気体）による劣化を防止することが可能になる。

25 音響整合部材 4 0 としては、実施の形態 1 ～ 3 で説明した音響整合部材や、実施の形態 4 ～ 6 で説明した製造方法によって製造された音響整合部材を用いるこ

とができる。

金属ケース 4 1 は、例えば、ステンレス製である。音響整合部材 4 0 は、例えば、ガラスの微小片の集合体である。このように、金属ケース 4 1 の熱膨張率と音響整合部材 4 0 の熱膨張率との差が大きい場合に、金属ケース 4 1 と音響整合部材 4 0 とを直接ロウ付けすると、その接合部にかかる応力により音響整合部材 4 0 が金属ケース 4 1 から剥離しやすい。

接合部材 5 2 は、金属ケース 4 1 の熱膨張率と音響整合部材 4 0 の熱膨張率との差を緩和するように金属ケース 4 1 と音響整合部材 4 0 との間に設けられている。接合部材 5 2 によって、音響整合部材 4 0 が金属ケース 4 1 から剥離することが防止される。

図 1 8 は、接合部材 5 2 の構成の一例を示す。

接合部材 5 2 は、金属ケース 4 1 の上に形成された銀ロウ箔（第 1 層） 5 3 と、銀ロウ箔 5 3 の上に形成されたチタン箔（第 2 層） 5 4 と、チタン箔 5 4 の上に形成された銀ロウ箔（第 3 層） 5 5 とを含む。音響整合部材 4 0 は、銀ロウ箔（第 3 層） 5 5 の上に形成されている。

20℃における熱膨張率は、それぞれ、ステンレスが  $14.7 \text{ K}^{-1}$ 、チタンが  $8.6 \text{ K}^{-1}$ 、ガラスが  $0.55 \sim 8 \text{ K}^{-1}$  である。熱膨張率がステンレスとガラスとの中間であるチタンをガラスとステンレスとの間に介在させることにより、接合面にかかる応力を低減することが可能になる。ステンレスとチタン箔とは銀ロウ箔を介して結合され、チタン箔はガラスに含まれる酸素と結合される。これにより、金属ケース 4 1 と音響整合部材 4 0 とが接合される。

音響整合部材 4 0 はガラスの微小片の集合体として形成されるため、音響整合部材 4 0 の機械強度は強くない。このため、ステンレス熱膨張率とガラスの熱膨張率との差によって生じる応力が音響整合部材 4 0 にかからないようにするために、図 1 8 に示される接合部材 5 2 に代えて、図 1 9 に示される接合部材 5 2 を使用するようにしてもよい。

図 1 9 は、接合部材 5 2 の構成の他の一例を示す。

図 1 9 に示される接合部材 5 2 は、図 1 8 に示される接合部材 5 2 に含まれる銀ロウ箔（第 1 層） 5 3、チタン箔（第 2 層） 5 4 および銀ロウ箔（第 3 層） 5 5 に加えて、銀ロウ箔 5 5 の上に形成されたセラミック板または高融点のガラス板（第 4 層） 5 6 と、セラミック板または高融点のガラス板 5 6 の上に形成された低融点のガラス（第 5 層） 5 7 とをさらに含む。音響整合部材 4 0 は、低融点のガラス（第 5 層） 5 7 の上に形成されている。

第 5 層 5 7 の低融点のガラスとしては、音響整合部材 4 0 のガラスより融点の低いガラスが使用される。第 4 層 5 6 の高融点のガラスとしては、第 5 層 5 7 の低融点ガラスより融点の高いガラスが使用される。

第 4 層 5 6 を板とすることにより、第 4 層 5 6 の機械強度を音響整合部材 4 0 の機械強度よりも強くすることができる。第 4 層 5 6 の熱膨張率と音響整合部材 4 0 の熱膨張率とはほぼ等しいため、音響整合部材 4 0 には応力が殆どかからない。

図 2 0 は、接合部材 5 2 の構成の他の一例を示す。

図 2 0 に示される接合部材 5 2 は、金属ケース 4 1 の上に形成された粉末ペースト層（第 1 層） 5 8 と、粉末ペースト層 5 8 の上に形成されたセラミック板または高融点のガラス板（第 2 層） 5 6 と、セラミック板または高融点のガラス板 5 6 の上に形成された低融点のガラス（第 3 層） 5 7 とを含む。音響整合部材 4 0 は、低融点のガラス（第 3 層） 5 7 の上に形成されている。

ここで、図 2 0 に示される第 2 層 5 6 および第 3 層 5 7 は、図 1 9 に示される第 4 層 5 6 および第 5 層 5 7 と同一である。

粉末ペースト層 5 8（第 1 層）は、銀ロウの粉末とチタンの粉末とを混ぜ合わせてペースト状にし、それを金属ケース 4 1 上に塗布することによって形成される。

粉末ペースト層 5 8 の上にセラミック板または高融点のガラス板（第 2 層） 5

6を載置し、加熱して接合し、その後セラミック板または高融点のガラス板56の上に低融点のガラス(第3層)57を形成した後に、接合部材52を加熱することにより、金属ケース41と音響整合部材40とが接合される。

銀ロウの粉末の量とチタンの粉末の量とを調整することにより、接合強度を幾分調整することができる。例えば、チタンと銀ロウの重量比率を1:30にすると、図18に示されるチタン箔54を用いた構成よりも、接合強度を下げるることができる。これにより、熱膨張率の違いにより発生する応力を低減することができる。その結果、金属ケース41に発生するステンレスの歪を小さくすることができる。これにより、振動子43と金属ケース41との間の隙間を小さくでき、振動子43の振動を金属ケース41に効率よく伝達することが可能になる。

図21は、接合部材52の構成の他の一例を示す。

図21に示される接合部材52は、金属ケース41の上に形成されたベース層(第1層)59と、ベース層59の上に形成された低融点のガラス(第2層)57とを含む。音響整合部材40は、低融点のガラス(第2層)57の上に形成されている。

ここで、図21に示される第2層57は、図19に示される第5層57と同一である。

ベース層59(第1層)は、銀ロウの粉末とチタンの粉末とセラミックの粉末とを混ぜ合わせてペースト状にし、それを金属ケース41上に塗布した後に焼結することによって形成される。

ベース層59の上に低融点のガラス(第2層)57を形成した後に、接合部材52を加熱することにより、金属ケース41と音響整合部材40とが接合される。

なお、セラミックの粉末と銀ロウの粉末とを混ぜて焼結すると、セラミックの粉末が銀ロウによって覆われてしまう。しかし、ベース層59の表面を研磨することによりベース層59の表面にセラミック部分を出すことができる。このセラミック部分と第2層57のガラスとが加熱によって結合され、さらに第2層57

のガラスと音響整合部材 40 とが加熱によって結合される。これにより、金属ケース 41 と音響整合部材 40 とが接合される。

(実施の形態 8)

図 22 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の構成例を示す。

5 超音波送受信器は、振動子 61 と、振動子 61 を収納する金属ケース 62 と、振動子 61 の音響インピーダンスと金属ケース 62 の外部を流れる流体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材 64 と、音響整合部材 64 と金属ケース 62 とを接合する接合部材 60 とを含む。

振動子 61 は、例えば、セラミック材料を用いた圧電振動子である。

10 金属ケース 62 の材質は、耐腐食性がよく、強度も強い材質であることが好ましい。金属ケース 62 は、例えば、ステンレス製である。

金属ケース 62 の厚さは  $200 \sim 300 \mu\text{m}$  としている。金属ケース 62 の厚さを薄くしている目的は、第一に振動子 61 から音響整合部材 64 への音の透過を考える際に、金属ケース 62 の音響インピーダンスを無視できるからである。

15 第二に、金属ケース 62 を音が伝播する際の、音のエネルギーの減衰を小さくするためである。ただし、金属ケース 62 の厚さを薄くしすぎると金属ケース 62 の材料であるステンレスの強度が落ちるので、ステンレスの強度が十分な範囲で金属ケース 62 の厚さを薄くしている。

20 金属ケース 62 は、実施の形態 7 と同様に、振動子 61 を内部に収納し、密封している。これにより、気体や水が振動子 61 に浸入することを防止することができ、振動子 61 の劣化や故障を防止することができる。

25 音響整合部材 64 は、例えば、図 3 に示される立体構造を有するガラスの微小片の集合体として形成される。音響整合部材 64 は、多数の空隙を有する構成を有し得る。ここでは、音響整合部材 64 の密度を  $0.4 \sim 0.6 \text{ g/cm}^3$ 、音響整合部材 64 の音速を  $1000 \sim 1300 \text{ m/s}$  としている。音響整合部材 64 の厚さは、およそ音の  $1/4$  波長になるようにしている。音の波長  $\lambda$  は、

(式2)によって求めることができる。

実施の形態8では、500kHzの音を伝播するので、音の波長は2～2.6mmとなり、音の1/4波長は0.5～0.65mmとなる。

5 接合部材60は、金属ケース62の上に形成された第1層65と、第1層の上に形成された第2層66と、第2層66の上に形成された第3層67とを含む。音響整合部材64は、第3層67の上に形成されている。

10 第1層65は、銀ロウで作られている。第1層65の一方の面は、金属ケース62に接合されており、第1層65の他方の面は凸凹形状を有している。以下、この凹凸形状を有している面を凹凸面という。第1層の厚さは、20～50μmである。

第2層66は、酸化チタンで作られている。第2層66は、第1層65の凹凸面に沿って形成されている。第2層の厚さは、数μmである。

15 第3層67は、音響整合部材64に用いた材料より低融点のガラスで作られている。第3層67の一方の面は、第2層66に接合されており、第3層67の他方の面は、音響整合部材64に接合されている。第3層67の厚さは、50～100μmである。

電極68、69は、振動子61に電圧を印加したり、振動子61の出力信号を取り出すために使用される。絶縁体70は、電極69と金属ケース62とを電氣的に絶縁する。絶縁体70は、ガラスや樹脂などの絶縁材料で作られる。

20 以下、図22に示される超音波送受信器の動作、作用を説明する。

電極68、69に約500kHzの交流電圧が印加されると、振動子61は約500kHzで振動する。

振動子61の振動は、金属ケース62と接合部材60（第1層65、第2層66および第3層67）とを介して、音響整合部材64に伝播する。

25 金属ケース62の厚さは200～300μmであり、接合部材60の厚さは約100μmである。金属ケース62の厚さおよび接合部材60の厚さは、これら

が有する音の波長に比べて十分に短い。従って、金属ケース 6 2 および接合部材 6 0 の音響インピーダンスの影響を無視することができる。その結果、振動子 6 1 は音響整合部材 6 4 と隣接した状態と同様の状態と考えることができる。

5 また、金属ケース 6 2 の厚さおよび接合部材 6 0 の厚さを薄くすることにより、音のエネルギーの減衰も小さくすることができる。

さらに、振動子 6 1 の振動は、音響整合部材 6 4 を介して、空気に伝播する。振動子 6 1 (圧電振動子) の音響インピーダンスは約  $30 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  あり、音響整合部材 6 4 の音響インピーダンスは約  $0.6 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  であり、空気の音響インピーダンスは約  $428 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  である。従って、振  
10 動子 6 1 から空気への音の透過率は約 0.16 となる。

この超音波送受信器は、空気中の振動を音響整合部材 6 4 を介して振動子 6 1 に伝え、振動子 6 1 がこの振動を電気信号に変換して電極 6 8、6 9 に出力することもできる。

このように、超音波送受信器は、電気信号を振動子 6 1 で機械的振動に変換し、  
15 この振動を空気などに伝えたり、空気などからの振動を振動子 6 1 で電気信号に変換し、電極 6 8、6 9 で受けるものである。

次に、図 2 2 に示される超音波送受信器の周囲温度が変化した場合を説明する。

超音波送受信器の周囲温度が変化すると、図 2 2 に示される超音波送受信器の構成部品は、その材料の熱膨張率に基づいて、厚さをはじめとした形状を変化させる。しかし、20℃における熱膨張率は、ステンレスが  $14.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 、銀ロウが  $15 \sim 16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 、チタンが  $8.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 、ガラスが  $0.55 \sim 8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  であり、温度による形状変化は樹脂材料に比べると殆ど  
20 ない。特に、音響整合部材 6 4 がガラスを用いて形成される場合には、温度による形状変化は小さい。従って、音の 1/4 波長の厚さを維持できるので、温度による出力特性の変化も小さくてすむ。また、各材料の融点は 400℃以上であり、  
25 かなりの高温環境下でなければ、各部品が柔らかくなることもなく品質の安定性

が確保できる。

一方、ステンレスの熱膨張率とガラスの熱膨張率とは大きく異なるので、ステンレスを材料とする金属ケース 6 2 とガラスを材料とする音響整合部材 6 4 とを直接接合すると応力が大きくなる。特に金属ケース 6 2 が  $200 \sim 300 \mu\text{m}$  と  
5 薄い場合には、反った形状となるか、もしくは音響整合部材 6 4 が破損するおそれがある。

これを防止するために、本発明では、熱膨張率がステンレスとガラスとの中間であるチタンを材料とする第 2 層 6 6 をガラスとステンレスとの間に介在させることにより、接合面にかかる応力を低減している。この作用に加えて、第 1 層 6  
10 5 と第 2 層 6 6 との接合面の形状を凸凹形状とすることにより、その接合面にかかる応力の方向を分散している。これにより、第 2 層 6 6 と第 3 層 6 7 にかかる応力を低減している。

ステンレスの熱膨張率と第 1 層 6 5 (銀ロウ) の熱膨張率とは同程度である。従って、ステンレスと第 1 層 6 5 (銀ロウ) とは同じ程度の横方向の収縮をしようとする。この場合、これらよりも熱膨張率が小さい第 2 層 6 6 (チタン) と第  
15 1 層 6 5 (銀ロウ) との境界面で応力が発生する。同時に、第 2 層 6 6 (チタン) よりも熱膨張率が小さい第 3 層 6 7 (低融点ガラス) と第 2 層 6 6 (チタン) との境界面でも応力が発生する。

第 3 層 6 7 (低融点ガラス) と第 2 層 6 6 (チタン) との境界面で発生する応力の方向は、図 2 2 の太い矢印で示される。この応力のベクトルは図 2 2 の細い矢印で示されるように、上下方向の力のベクトルと左右方向の力のベクトルとに分けることができる。上下方向の力のベクトルは互いに打ち消し合い、左右方向の力のベクトルは互いに打ち消し合う。その結果、全体の応力が低減されることになる。

25 このように、金属ケース 6 2 の熱膨張率と音響整合部材 6 4 の熱膨張率との差を緩和する接合部材 6 0 を介して、金属ケース 6 2 と音響整合部材 6 4 とを接合



することにより、接合面が反ったり、音響整合部材 6 4 が金属ケース 6 2 から剥離することが防止される。これにより、温度による特性変化の小さい超音波送受信器を提供することが可能になる。

5       また、図 2 2 に示される例では、第 1 層 6 5 の材料に銀ロウを用い、第 2 層 6 6 の材料にチタンを用い、第 3 層 6 7 の材料にガラスを用いている。接合部材 6 0 は、硫黄などを含む気体中であっても腐食しにくい構造を有している。これにより、長寿命の超音波送受信器を提供することが可能になる。

10       図 2 3 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の他の構成例を示す。図 2 3 に示される超音波送受信器は、図 2 2 に示される超音波送受信器に比べて、接合部材 6 0 にかかる応力をさらに低減する構成を有している。

      接合部材 6 0 は、金属ケース 6 2 の上に形成された第 1 層 7 1 と、第 1 層 7 1 の上に形成された第 2 層 7 2 と、第 2 層 7 2 の上に形成された第 3 層 7 3 とを含む。

15       第 1 層 7 1 は、金属ケース 6 2 の上に断続的に形成されている。すなわち、第 1 層 7 1 は、複数の部分層に分割されている。図 2 3 に示される例では、第 1 層 7 1 は、部分層 7 1 a、7 1 b、7 1 c に分割されている。部分層 7 1 a、7 1 b、7 1 c のそれぞれの一方の面は、金属ケース 6 2 に接合されており、部分層 7 1 a、7 1 b、7 1 c のそれぞれの他方の面は凹凸形状を有している。以下、部分層 7 1 a、7 1 b、7 1 c の凹凸形状を有する面を凹凸面という。

20       第 2 層 7 2 は、第 1 層 7 1 の上に断続的に形成されている。すなわち、第 2 層 7 2 は、複数の部分層に分割されている。図 2 3 に示される例では、第 2 層 7 2 は、部分層 7 2 a、7 2 b、7 2 c に分割されている。部分層 7 2 a は、部分層 7 1 a の凹凸面に沿って形成されている。部分層 7 2 b は、部分層 7 1 b の凹凸面に沿って形成されている。部分層 7 2 c は、部分層 7 1 c の凹凸面に沿って形成されている。

25

      このように、第 1 層 7 1 および第 2 層 7 2 を断続的に形成することにより、熱

膨張率が大きくても、形状変化の大きさを小さくすることができる。これにより、第2層72と第3層73との接合面にかかる応力を低減することが可能になる。また、断続的に存在する部分層どうしにより形状変化を相殺することができる。これにより、第2層72と第3層73との接合面にかかる応力を低減することが可能になる。

図23に示される例では、第1層71および第2層72が断続的に形成されている結果、金属ケース62の一部において、第3層73と金属ケース62とが接触している。しかし、第3層73と金属ケース62とが接触する面積はわずかであることから、これらの熱膨張率の差が大きい場合でもこれらを接合することができる。仮に、これらを接合できなかったとしても、その接触面積はわずかであることから、振動（音）の伝播に与える影響を無視することができる。

なお、図23に示される超音波送受信器の動作、作用は、図22に示される超音波送受信器の動作、作用と同様である。従って、ここでは、その説明を省略する。

このように、第1層71を断続的に形成することにより、接合部材60にかかる応力を低減することができる。これにより、音響整合部材64をガラスよりも熱膨張率の小さい材料を用いて形成することが可能になる。その結果、温度による出力特性変化のない超音波送受信器を提供することが可能になる。

図24は、本発明の実施の形態8の超音波送受信器の他の構成例を示す。

接合部材60は、金属ケース62の上に形成された第1層81と、第1層81の上に形成された第2層82と、第2層82の上に形成された第3層83とを含む。

図24に示される接合部材60の構成は、第1層81が複数のアルミナ粒子82を内包している点を除いて、図22に示される接合部材60の構成と同一である。

アルミナ粒子82の熱膨張率は $6 \sim 7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ であり、第1層81の材

料である銀ロウの熱膨張率に比べてはるかに小さい。従って、アルミナ粒子 8 2 は温度による形状変化が殆どないこととなる。これにより、第 1 層 8 1 の全体的な形状変化の大きさを小さくすることができる。

5 また、異なる大きさのアルミナ粒子 8 2 を使用することにより、第 1 層 8 1 の凸凹面を容易に形成することができるという利点がある。

図 2 5 は、本発明の実施の形態 8 の超音波送受信器の他の構成例を示す。図 2 5 に示される超音波送受信器は、図 2 4 に示される超音波送受信器に比べて、接合部材 6 0 にかかる応力をさらに低減する構成を有している。

10 接合部材 6 0 は、金属ケース 6 2 の上に形成された第 1 層 9 1 と、第 1 層 9 1 の上に形成された第 2 層 9 2 と、第 2 層 9 2 の上に形成された第 3 層 9 3 とを含む。

図 2 5 に示される接合部材 6 0 の構成は、第 1 層 9 1 および第 2 層 9 2 が断続的に形成されている点を除いて、図 2 4 に示される接合部材 6 0 の構成と同一である。

15 このように、第 1 層 9 1 および第 2 層 9 2 を断続的に形成することにより、熱膨張率が大きくても、形状変化の大きさを小さくすることができる。また、断続的に存在する部分層どうしにより形状変化を相殺することができる。

20 従って、図 2 5 に示される超音波送受信器においては、まず、第 1 層 9 1 と第 2 層 9 2 との接合面にかかる応力を低減することができ、次に、第 2 層 9 2 と第 3 層 9 3 との接合面にかかる応力を低減することができる。その結果、図 2 5 に示される接合部材 6 0 にかかる応力を図 2 4 に示される接合部材 6 0 にかかる応力よりも低減することが可能になる。

25 このように、第 1 層 9 1 を断続的に形成することにより、接合部材 6 0 にかかる応力を低減することができる。これにより、音響整合部材 6 4 をガラスよりも熱膨張率の小さい材料を用いて形成することが可能になる。その結果、温度による出力特性変化のない超音波送受信器を提供することが可能になる。

## (実施の形態 9)

図 2 6 は、本発明の実施の形態 9 の接合方法の手順を示す。図 2 6 に示される手順に従って、図 2 2 に示される超音波送受信器の音響整合部材 6 4 と金属ケース 6 2 とが接合部材 6 0 を介して接合される。

- 5       ステップ 1 0 1 (混合工程) では、第 1 層 6 5 の材料である銀ロウの粒子と第 2 層 6 6 の材料であるチタンの粒子とを所定の比率で混合することにより、混合体が作成される。

混合体中の材料の分布を均一とするために、粘性を有する樹脂材料の固形助剤を混合体に加えることが好ましい。例えば、固形助剤として、銀、銅、チタンに  
10       比べてはるかに融点が高い固形助剤を使用することができる。この場合、固形助剤は、第 1 層 6 5 の材料である銀ロウを溶かす前に蒸発させることが好ましい。

ステップ 1 0 2 (混合体塗布工程) では、混合体が金属ケース 6 2 に塗布される。

- 15       ステップ 1 0 3 (混合体加熱工程) では、混合体が塗布された金属ケース 6 2 が真空炉に入れられ、そこで加熱される。

ステップ 1 0 4 (低融点ガラス塗布工程) では、第 1 層 6 5 と第 2 層 6 6 とが形成された金属ケース 6 2 が真空炉から取り出され、第 3 層 6 7 の材料である低融点ガラスが第 2 層 6 6 の上に塗布される。低融点ガラスに粘性を有する樹脂材料の固形助剤を混合することにより、低融点ガラスを均一に塗布することができ  
20       る。

- 25       ステップ 1 0 5 (接合工程) では、音響整合部材 6 4 が低融点ガラスの上に置かれ、約 3 0 g の荷重をかけながら、大気中で 4 5 0 ℃前後に加熱される。低融点ガラスが熔融することにより、低融点ガラスが第 2 層 6 6 の酸化チタン膜と接合する一方で、低融点ガラスが音響整合部材 6 4 のガラスと接合する。なお、音響整合部材 6 4 のガラスが軟化する温度は 6 0 0 ℃以上であることから、音響整合部材 6 4 のガラスが 4 5 0 ℃で溶けることはない。

このように、熱膨張率の異なる複数の材料の粒子を混合することにより混合体を作成し、その混合体を加熱し溶かすことにより、熱膨張率が異なる複数の層を有する接合部材を形成することが可能になる。

5       また、実施の形態 9 では、特に酸化しやすい材料としてチタンを用い、チタンより比重の重い材料として銀ロウを用いている。チタンの密度は  $4.54 \text{ g/cm}^3$  であり、銀と銅の合金の密度は  $9 \sim 10 \text{ g/cm}^3$  である。これらの材料からなる混合体を溶かした場合には、銀ロウ上にチタンが浮くこととなり、チタンが酸化される。このようにして、銀ロウの層の上に酸化チタンの膜を形成することができる。

10       また、実施の形態 9 では、ステップ 103（混合体加熱工程）において、約  $800 \sim 900^\circ\text{C}$  で混合体を加熱するようにしている。この加熱温度はチタンの融点  $1650^\circ\text{C}$  に比べ、十分に低い温度であるが、銀ロウの融点より高い温度なので、銀ロウの液体中にチタンを浮上させることが可能になる。浮上したチタンは真空炉内の酸素と反応することにより溶融し、酸化チタンの膜を形成する。このようにして、第 2 層 66 が形成される。

15       また、実施の形態 9 では、酸化しやすい材料であるチタン粒子の大きさを  $150 \mu\text{m}$  以下にすることにより、チタンの融点まで加熱しなくても、チタンが酸素と反応して溶融し、数  $\mu\text{m}$  の薄い酸化チタン膜を形成することができる。

20       また、実施の形態 9 では、酸化しやすい材料であるチタンの熱膨張率が  $20^\circ\text{C}$  において  $8.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  で、それより比重の大きい材料である銀ロウの熱膨張率が  $15 \sim 17 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  である。つまり、熱膨張率が小さいチタンを膜状にすることにより、第 2 層 66、第 1 層 65 および金属ケース 62 は、段階的な熱膨張率を有することになり、第 3 層 67 の材料である低融点ガラスの熱膨張率と金属ケース 62 の材料であるステンレスの熱膨張率との差により生じる応力を緩和することができる。これにより、音響整合部材 64 をガラスで形成した場合でも、音響整合部材 64 と金属ケース 62 とを接合することが可能になる。

図 2 7 は、図 2 6 に示される手順に従って音響整合部材 6 4 と金属ケース 6 2 とを接合することによって得られた超音波送受信器の主要部の断面を示す。

図 2 7 において、参照番号 6 2 は、ステンレス製の金属ケースを示し、参照番号 1 1 1 は、銀ロウ層（第 1 層）を示し、参照番号 1 1 2 は、酸化チタン膜（第 2 層）を示し、参照番号 1 1 3 は、アルミナ粒子を示し、参照番号 1 1 4 は、低融点ガラス層（第 3 層）を示し、参照番号 6 4 は、ガラス製の音響整合部材を示す。

ここでは、銀ロウ層 1 1 1 の内部にアルミナ粒子 1 1 3 を点在させることにより、銀ロウ層 1 1 1 の凹凸面および酸化チタン膜 1 1 2 の凸凹面を形成している。

図 2 7 から明らかなように、金属ケース 6 2 と銀ロウ層 1 1 1 とはすき間なく接合している。銀ロウ層 1 1 1 と酸化チタン膜 1 1 2 ともしき間なく接合している。

銀ロウ粒子とチタン粒子とを含む混合体を溶かすことにより、軟化した状態で互いに接合することとなる。その結果、各接合面をすき間なくすることができる。アルミナ粒子 1 1 3 を利用して凸凹面を形成することにより、酸化チタン膜 1 1 1 と低融点ガラス層 1 1 4 との接合面にかかる応力を低減することができる。

アルミナ粒子 1 1 3 の熱膨張率は  $6 \sim 7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$  であり、銀ロウの熱膨張率より小さい。アルミナ粒子 1 1 3 を銀ロウ層 1 1 1 の内部に含むことにより、銀ロウ層 1 1 1 には局所的に熱膨張率が小さいところが存在することとなる。これにより、銀ロウ層 1 1 1 全体の熱膨張率を小さくすることができる。その結果、低融点ガラス層 1 1 4 にかかる応力も小さくなる。

また、接合面が凸凹形状を有することにより、接合面にかかる応力の方向を分散させることができる。これにより、低融点ガラス層 1 1 4 にかかる応力を低減することができる。低融点ガラスと音響整合部材 6 4 のガラスとは、ほぼ同じ熱膨張率を持つので、低融点ガラス層 1 1 4 と音響整合部材 6 4 との接合面には、応力は殆どかからない。

以上のような構成をとることにより、音響整合部材 6 4 や、音響整合部材 6 4 と金属ケース 6 2 を接合する接合部材 6 0 を熱膨張率の小さい材料で形成することが可能になる。これにより、超音波送受信器の温度による特性変化を小さくすることが可能になる。

- 5       なお、実施の形態 9 において、特にチタンを窒素や炭素などと反応させることにより、窒化チタン膜または炭化チタン膜を第 2 層 6 6 として形成するようにしてもよい。この場合、窒化チタン膜または炭化チタン膜は、酸化チタン膜と同様の効果を有する。窒化チタン膜は、窒素雰囲気中でチタン粒子と銀ロウ粒子とを有する混合体を加熱することによって形成することができる。なお、膜の組成について、膜が接合する相手の組成に対応して設定すればよい。

10       なお、上述した各実施の形態において、被測定物質として気体を例にして説明したが、これは液体であってもよい。

#### 産業上の利用可能性

- 15       本発明の音響整合部材によれば、複数の微小片のうち少なくとも 1 つは、前記音響整合部材に空隙を形成するように、複数の微小片のうち他の少なくとも 1 つとの接触箇所で接合されている。微小片どうしを接触箇所で接合することにより、微小片どうしの接触面積が大きくなる。これにより、微小片どうしの結合を強めることができる。これは、微小片の結合点での振動の減衰を低減する効果を生じる。
- 20       従って、振動子の振動を被測定物質の流体に効率よく伝達することが可能になる。

- また、微小片を不定形な立体構造を有するように構成することにより、音響整合部材に形成される空隙を大きくすることができる。これにより、音響整合部材の密度を微小片の材料の固有の密度よりも小さくすることができる。その結果、
- 25       音響整合部材の音響インピーダンスが低減される。従って、振動子の振動を被測定物質の流体に効率よく伝達することが可能になる。

また、音が音響整合部材を直線的に伝播しないように微小片を配置することにより、音響整合部材の音速を低減することが可能になる。その結果、音響整合部材の音響インピーダンスが低減される。従って、振動子の振動を被測定物質の流体に効率よく伝達することが可能になる。

- 5       さらに、微小片をガラスまたはセラミックで作ることにより、熱膨張率が小さく、安定した温度特性の音響整合部材を得ることができる。これにより、精度のよい超音波送受信器を実現することができる。また、気体中に含まれるイオウなどの不純物によって、腐食されにくい音響整合部材とすることができる。

- 10       本発明の音響整合部材の製造方法によれば、微小片の材料が軟化する温度まで複数の微小片を加熱することにより、微小片どうしが互いに接合される。音響整合部材の製造にエポキシ系の接着剤などを用いる必要がなく、この接着剤の分だけ音響整合部材を軽量にすることができる。これにより、音響整合部材の音響インピーダンスが低減される。従って、振動子の振動を被測定物質の流体に効率よく伝達することが可能になる。

- 15       本発明の超音波送受信器によれば、振動子を収納する金属ケースと音響整合部材とを接合する接合部材が、金属ケースの熱膨張率と音響整合部材の熱膨張率との差を緩和するように構成されている。これにより、エポキシなどの樹脂系接着剤を用いことなく、熱膨張率の異なる金属ケースと音響整合部材とを安定して接合することが可能になる。



## 請求の範囲

1. 第1物体から第2物体に音を伝播させる場合において、前記第1物体の音響インピーダンスと前記第2物体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用  
5 される音響整合部材であって、

前記音響整合部材は、複数の微小片を含み、

前記複数の微小片のうち少なくとも1つは、前記音響整合部材に空隙を形成するように、前記複数の微小片のうち他の少なくとも1つとの接触箇所にて接合されている、音響整合部材。

10

2. 前記複数の微小片のそれぞれは、不定形な立体構造を有している、請求の範囲第1項に記載の音響整合部材。

3. 前記複数の微小片は、前記音が前記音響整合部材を直線的に伝播しないように配置されている、請求の範囲第1項に記載の音響整合部材。  
15

4. 前記複数の微小片のそれぞれは、ガラスまたはセラミックで作られている、請求の範囲第1項に記載の音響整合部材。

5. 第1物体から第2物体に音を伝播させる場合において、前記第1物体の音響インピーダンスと前記第2物体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用  
20 される音響整合部材を製造する製造方法であって、

(a) 複数の微小片を形成するステップと、

(b) 前記複数の微小片の材料が軟化する温度まで前記複数の微小片を加熱することにより、前記音響整合部材に空隙が形成されるように、前記複数の微小片のうち少なくとも1つを前記複数の微小片のうち他の少なくとも1つとの接触箇  
25

所で接合するステップと

を包含する、音響整合部材の製造方法。

5 6. 前記ステップ (b) は、前記複数の微小片に荷重をかけつつ前記複数の微小片を加熱するステップを包含する、請求の範囲第 5 項に記載の音響整合部材の製造方法。

7. 前記ステップ (a) は、  
前記複数の微小片と液体とを混合するステップと、  
10 前記複数の微小片と前記液体との混合物から前記液体を蒸発させるステップとを包含する、請求の範囲第 5 項に記載の音響整合部材の製造方法。

8. 前記液体の比重は、前記微小片の比重より小さい、請求の範囲第 7 項に記載の音響整合部材の製造方法。

15 9. 前記液体の蒸発は、前記複数の微小片が前記液体に沈殿した後に行われる、請求の範囲第 8 項に記載の音響整合部材の製造方法。

20 10. 前記複数の微小片は、複数の中空球体を粉砕することによって形成される、請求の範囲第 5 項に記載の音響整合部材の製造方法。

11. 前記音響整合部材の密度は、前記複数の中空球体を粉砕する度合によって制御される、請求の範囲第 10 項に記載の音響整合部材の製造方法。

25 12. 前記複数の中空球体を粉砕する度合は、前記複数の中空球体を粉砕する前の前記複数の中空球体の体積と前記複数の中空球体を粉砕した後の前記複数の微

小片の体積との比によって表される、請求の範囲第 1 1 項に記載の音響整合部材の製造方法。

1 3. 振動子と、

5 前記振動子を収納する金属ケースと、  
前記振動子の音響インピーダンスと前記金属ケースの外部を流れる流体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材と、  
前記音響整合部材と前記金属ケースとを接合する接合部材と  
を備え、

10 前記音響整合部材は、複数の微小片を含み、前記複数の微小片のうち少なくとも 1 つは、前記音響整合部材に空隙を形成するように、前記複数の微小片のうち他の少なくとも 1 つとの接触箇所にて接合されており、

前記接合部材は、前記金属ケースの熱膨張率と前記音響整合部材の熱膨張率との差を緩和するように構成されている、超音波送受信器。

15

1 4. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第 1 層と、前記第 1 層の上に形成された第 2 層と、前記第 2 層の上に形成された第 3 層とを含み、前記第 1 層は銀ロウで作られており、前記第 2 層はチタンで作られており、前記第 3 層は銀ロウで作られている、請求の範囲第 1 3 項に記載の超音波送受信器。

20

1 5. 前記接合部材は、前記第 3 層の上に形成された第 4 層と、前記第 4 層の上に形成された第 5 層とをさらに含み、前記第 4 層はセラミック板またはガラス板であり、前記第 5 層は前記第 4 層の材料より融点の低いガラスで作られている、請求の範囲第 1 4 項に記載の超音波送受信器。

25

1 6. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第 1 層を含み、前記第

1 層は、銀ロウの粉末とチタンの粉末とを混合することによって得られる混合物に基づいて形成されている、請求の範囲第 1 3 項に記載の超音波送受信器。

5 1 7. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第 1 層を含み、前記第 1 層は、銀ロウの粉末とチタンの粉末とセラミックの粉末とを混合することによって得られる混合物に基づいて形成されている、請求の範囲第 1 3 項に記載の超音波送受信器。

10 1 8. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第 1 層と、前記第 1 層の上に形成された第 2 層とを含み、前記第 1 層と前記第 2 層との接合面は凹凸形状を有している、請求の範囲第 1 3 項に記載の超音波送受信器。

15 1 9. 前記第 1 層は、前記金属ケースの上に断続的に形成されている、請求の範囲第 1 8 項に記載の超音波送受信器。

2 0. 前記第 1 層は、前記第 1 層の材料の熱膨張率より小さい熱膨張率を有する複数の粒子を含む、請求の範囲第 1 8 項に記載の超音波送受信器。

20 2 1. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第 1 層と、前記第 1 層の上に形成された第 2 層とを含み、

前記第 1 層は、酸化または窒化または炭化しやすい第 1 材料の第 1 粒子と前記第 1 材料より比重が重く融点が高い第 2 材料の第 2 粒子とを含む混合物を加熱することにより前記第 2 材料の層として形成され、前記第 2 層は、酸化または窒化または炭化された前記第 1 材料の膜として前記第 2 材料の層の上に形成される、  
25 請求の範囲第 1 3 項に記載の超音波送受信器。

2 2. 前記第 1 材料の熱膨張率は、前記第 2 材料の熱膨張率より小さい、請求の範囲第 2 1 項に記載の超音波送受信器。

5 2 3. 前記混合体を加熱する温度は、前記第 1 材料の融点より低く、かつ、前記第 2 材料の融点より高い温度である、請求の範囲第 2 1 項に記載の超音波送受信器。

2 4. 前記第 1 粒子の大きさは、150  $\mu\text{m}$  以下である、請求の範囲第 2 1 項に記載の超音波送受信器。

## 補正書の請求の範囲

[2001年3月27日(27.03.01)国際事務局受理：出願当初の請求の範囲13は補正された；他の請求の範囲は変更なし。(1頁)]

小片の体積との比によって表される、請求の範囲第11項に記載の音響整合部材の製造方法。

13. (補正後) 振動子と、

5 前記振動子を収納する金属ケースと、

前記振動子の音響インピーダンスと前記金属ケースの外部を流れる流体の音響インピーダンスとの整合をとるために使用される音響整合部材と、

前記音響整合部材と前記金属ケースとを接合する接合部材と

を備え、

10 前記接合部材は、前記金属ケースの熱膨張率と前記音響整合部材の熱膨張率との差を緩和するように構成されている、超音波送受信器。

14. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層と、前記第1層の上に形成された第2層と、前記第2層の上に形成された第3層とを含み、前記  
15 第1層は銀ロウで作られており、前記第2層はチタンで作られており、前記第3層は銀ロウで作られている、請求の範囲第13項に記載の超音波送受信器。

15. 前記接合部材は、前記第3層の上に形成された第4層と、前記第4層の上に形成された第5層とをさらに含み、前記第4層はセラミック板またはガラス板  
20 であり、前記第5層は前記第4層の材料より融点の低いガラスで作られている、請求の範囲第14項に記載の超音波送受信器。

16. 前記接合部材は、前記金属ケースの上に形成された第1層を含み、前記第

図 1

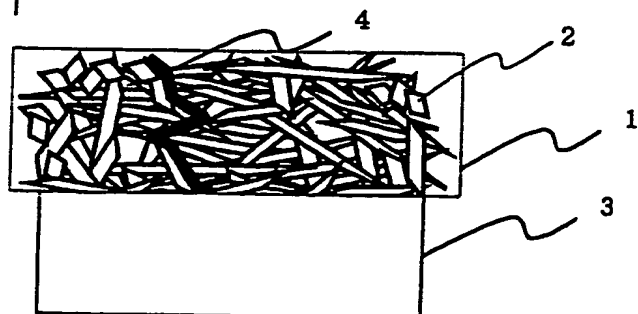


図 2

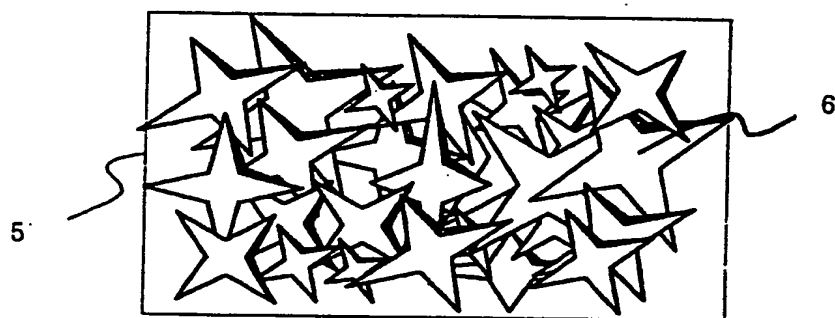


図 3

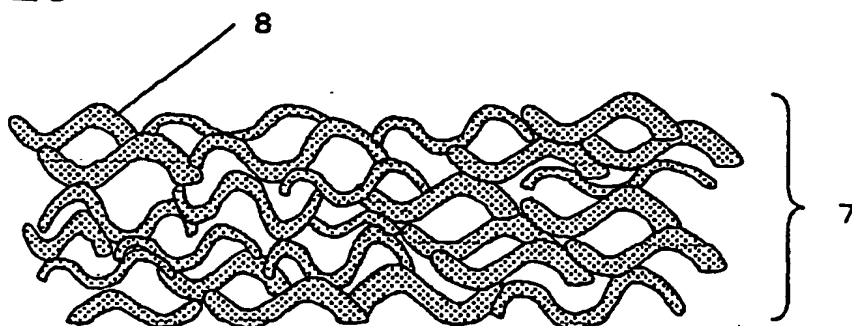


図 4

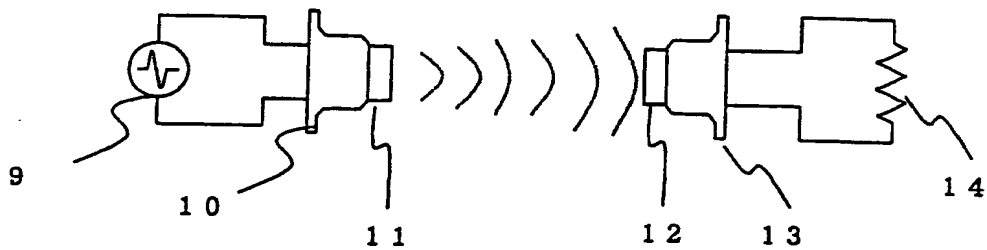


図 5

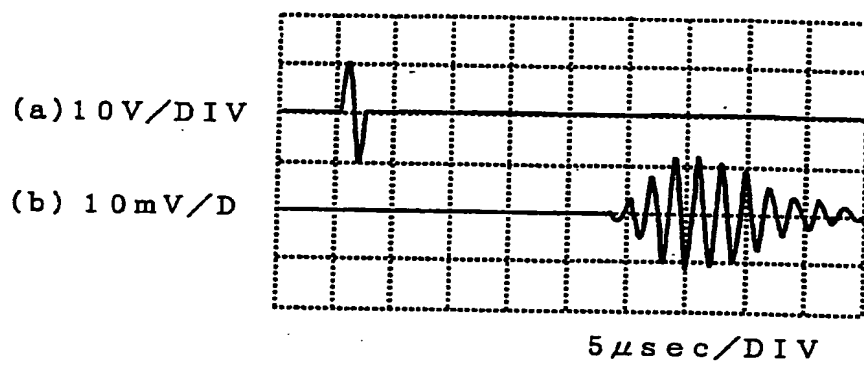
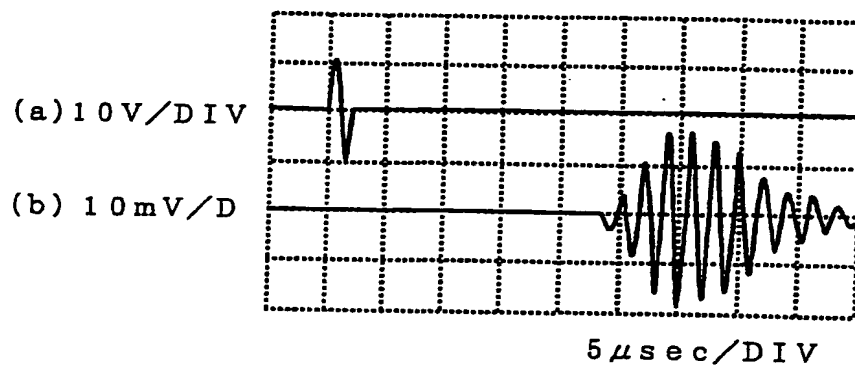


図 6





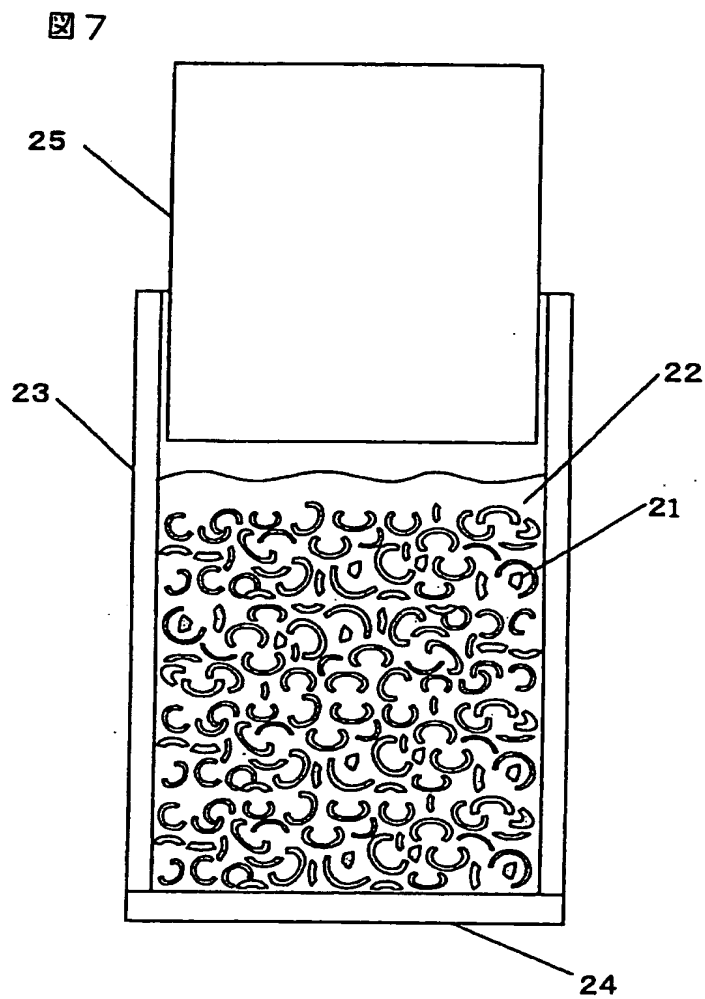


図 8

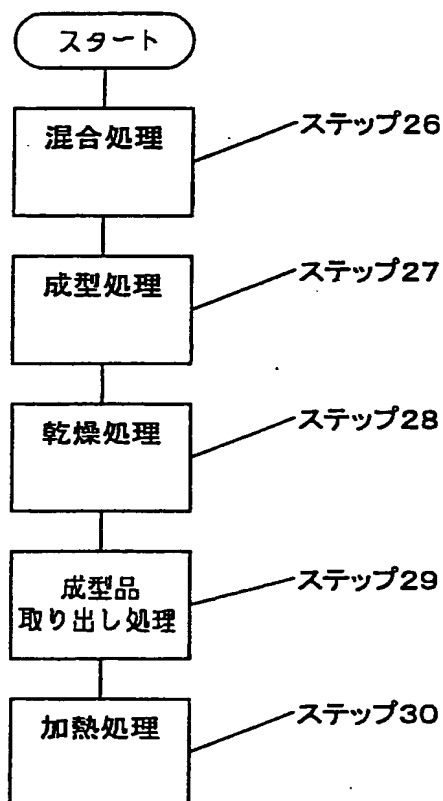
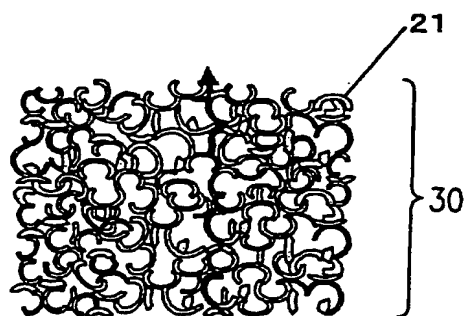


図 9



10

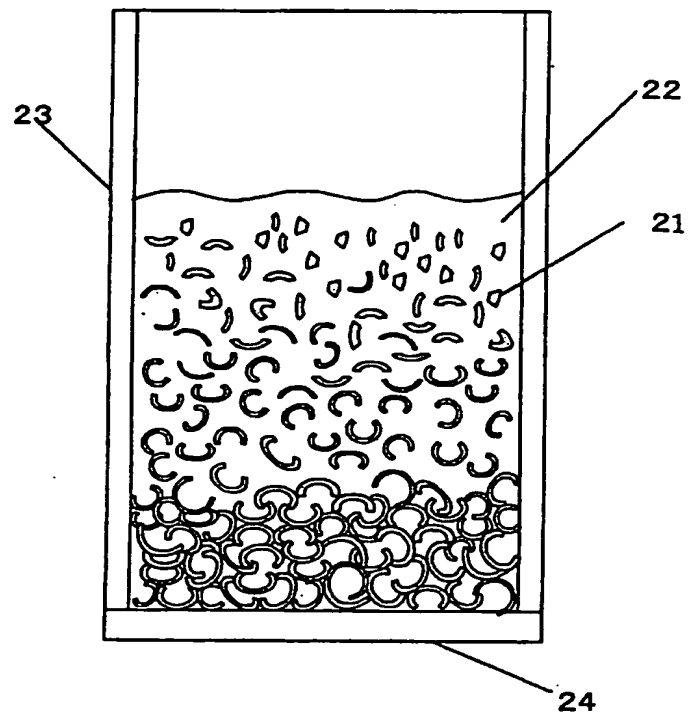


図 11

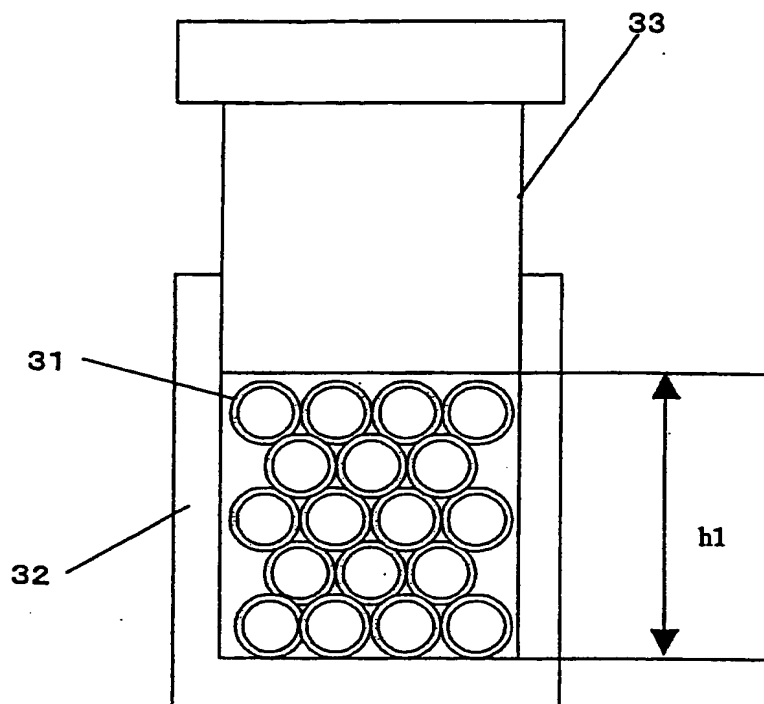


図 12

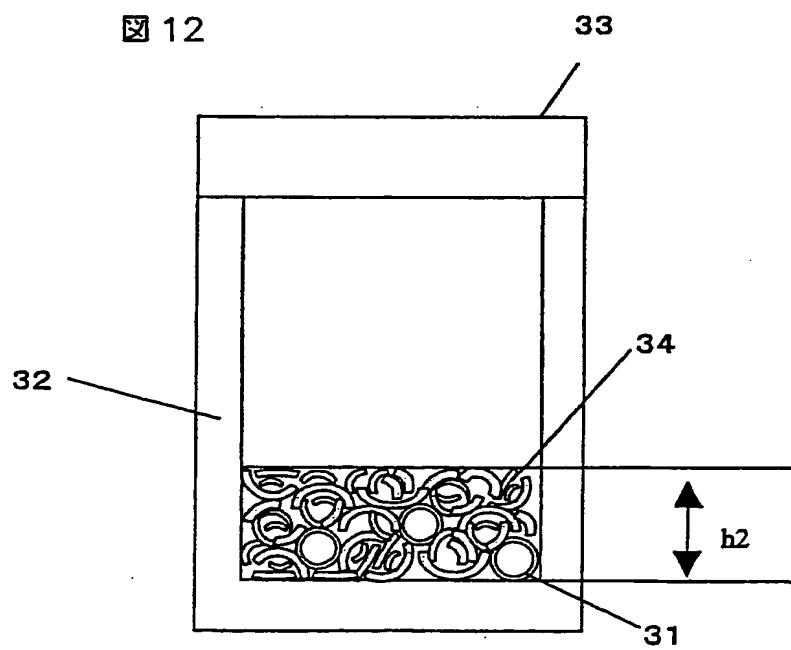
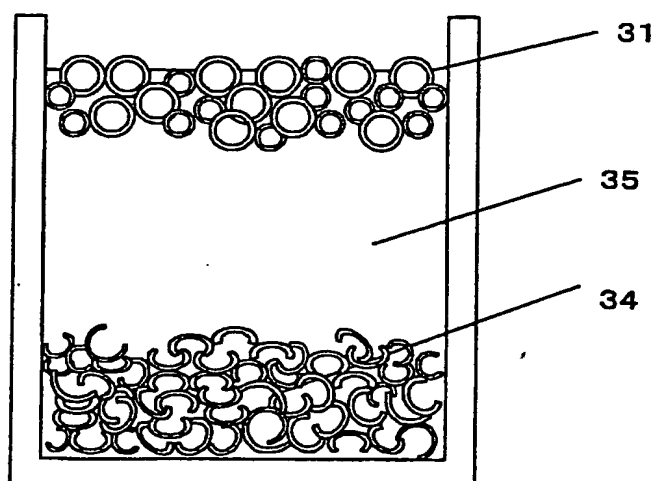


図 13



☒ 14A



☒ 14B



☒ 14C



図 15

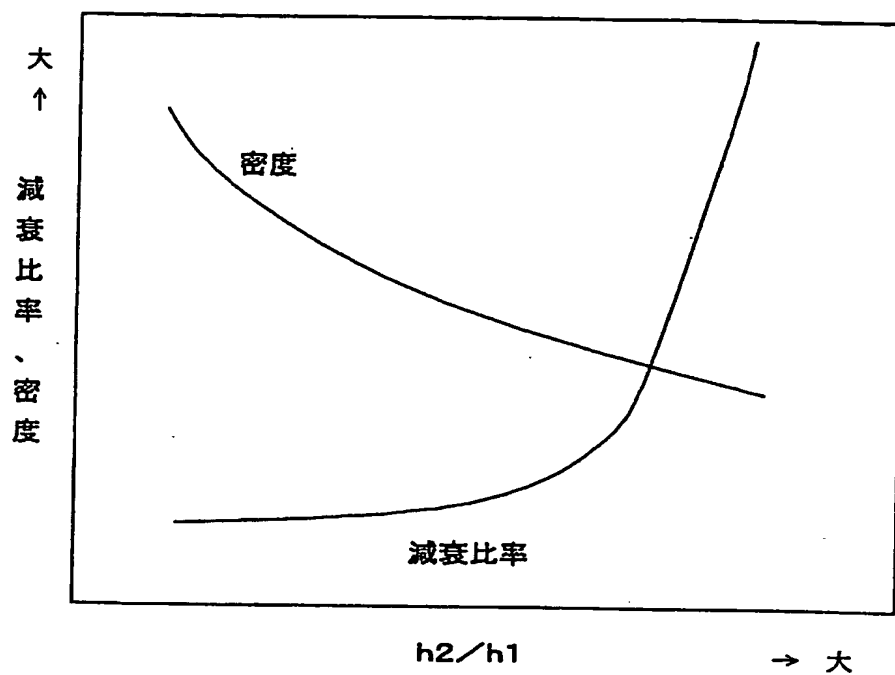
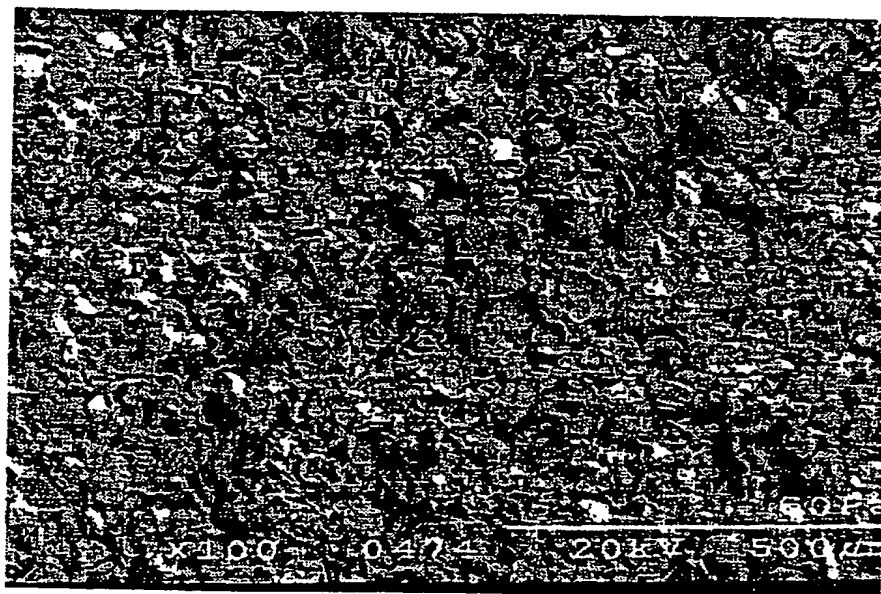


図 16



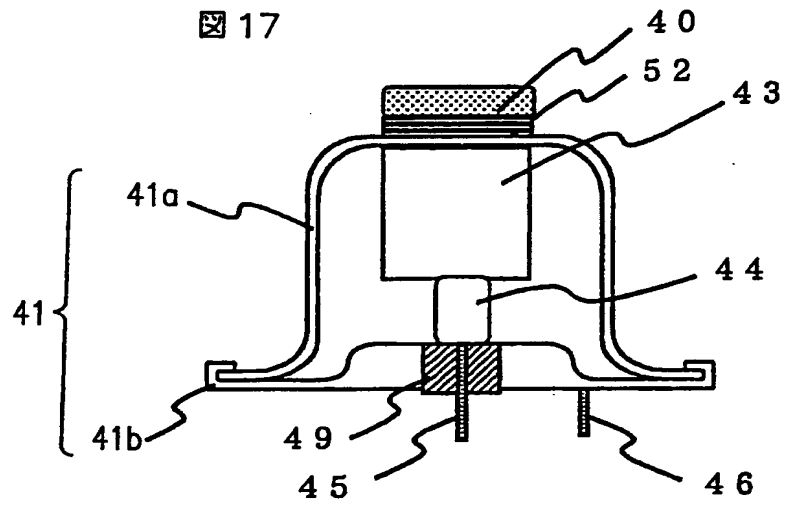




図 18

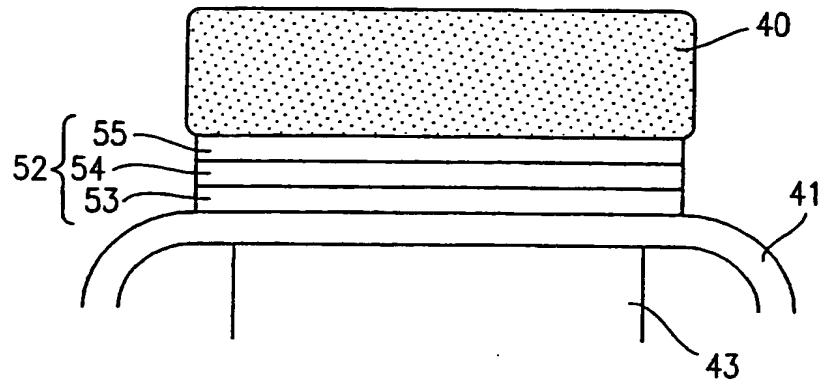


図 19

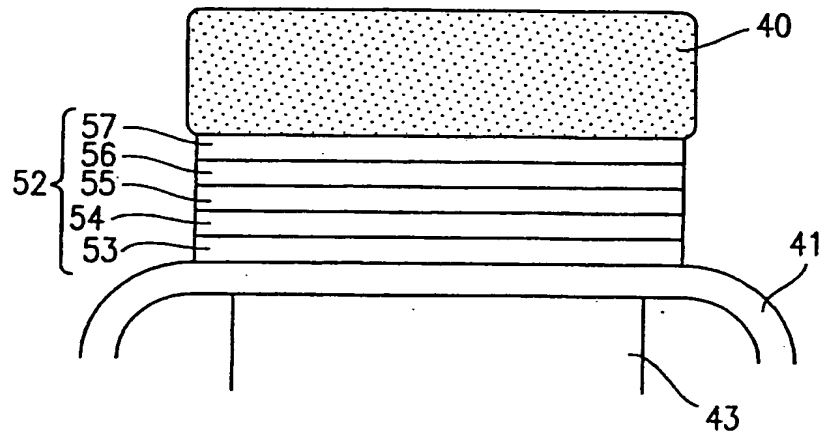


図 20

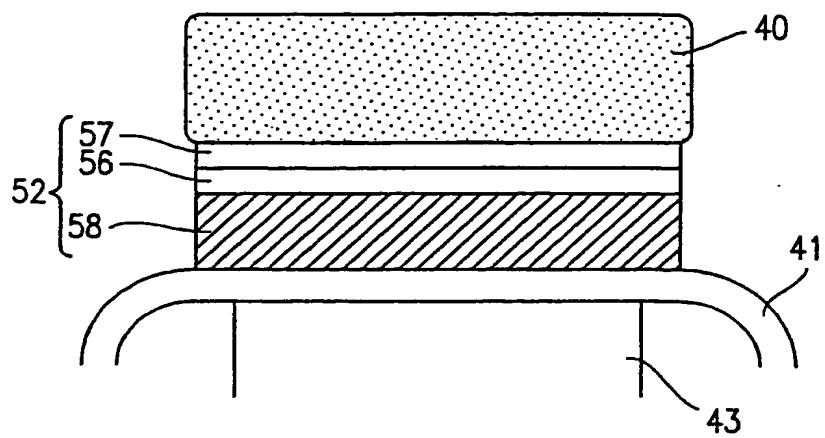
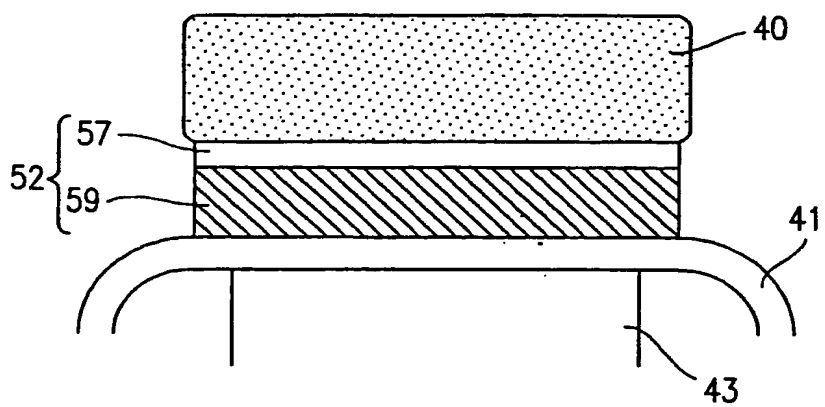
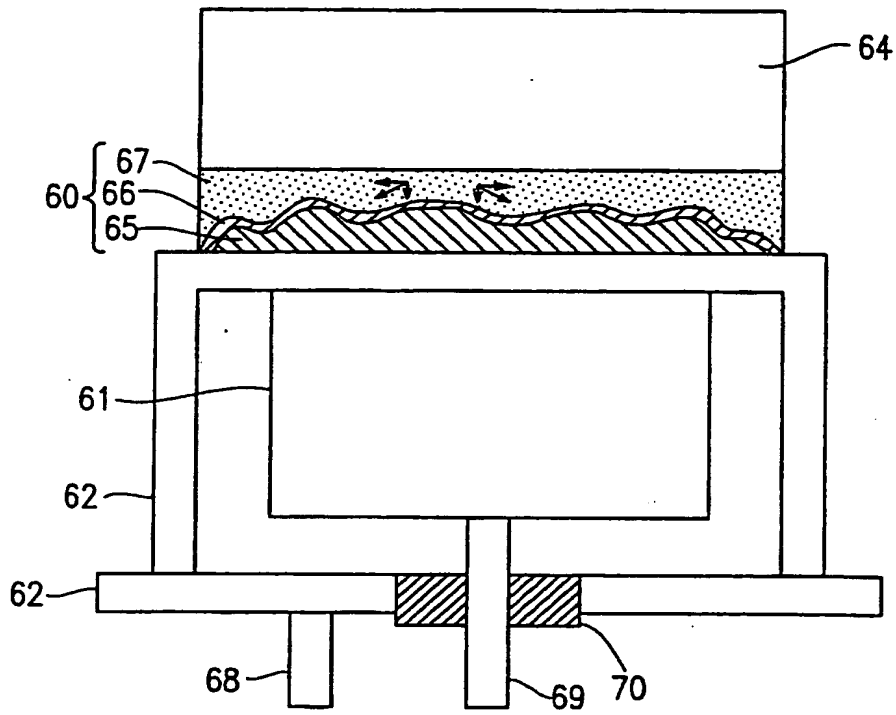


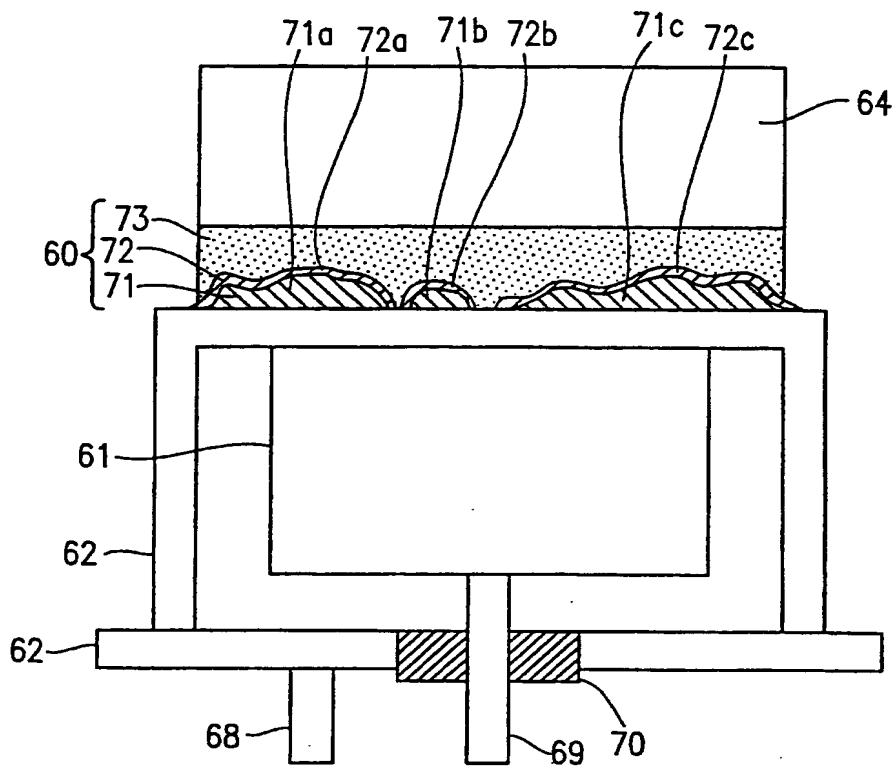
図 21



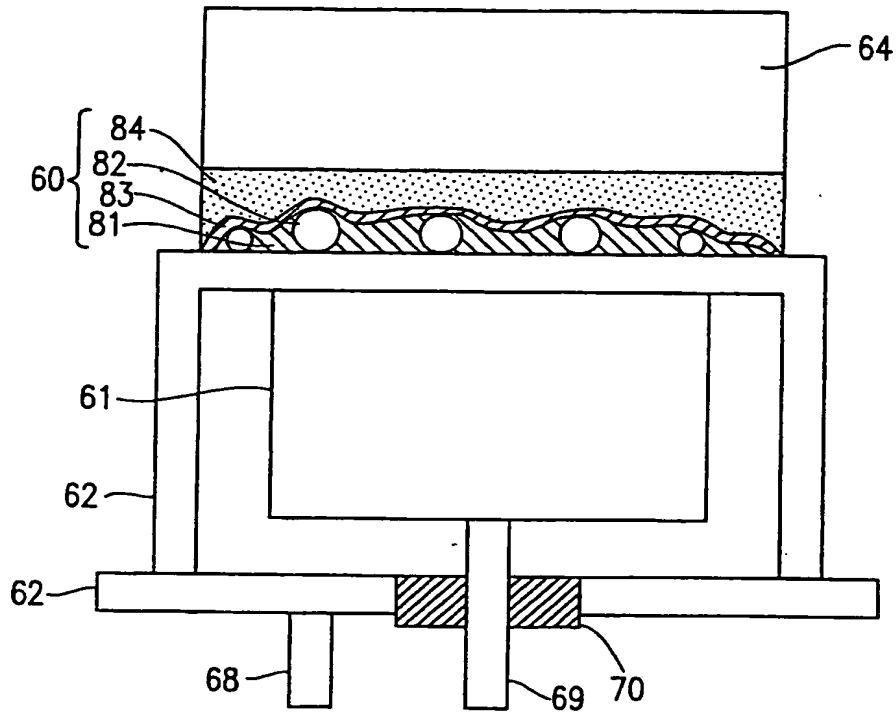
22



23



24



25

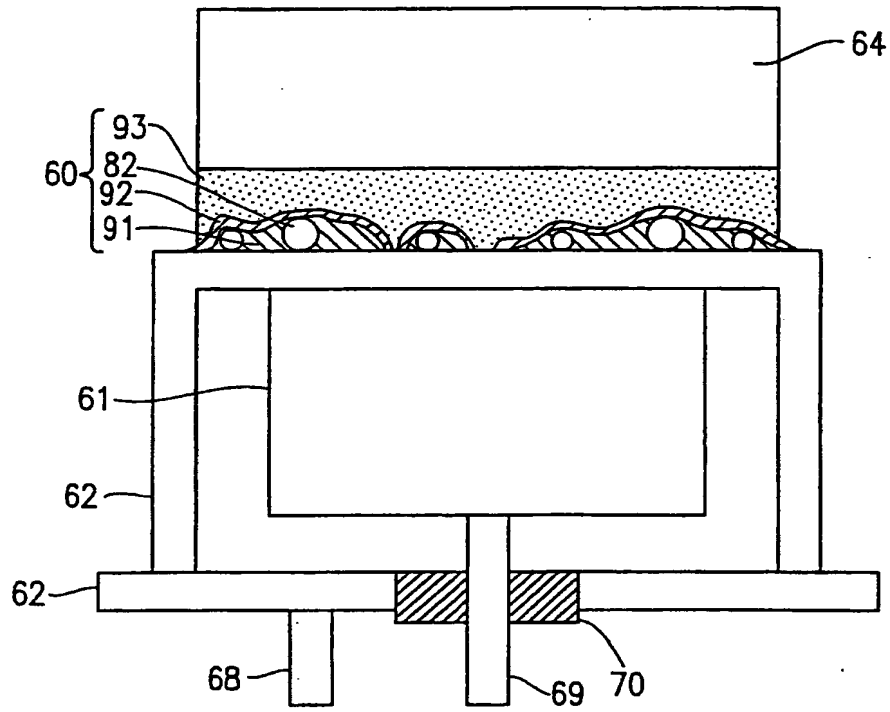
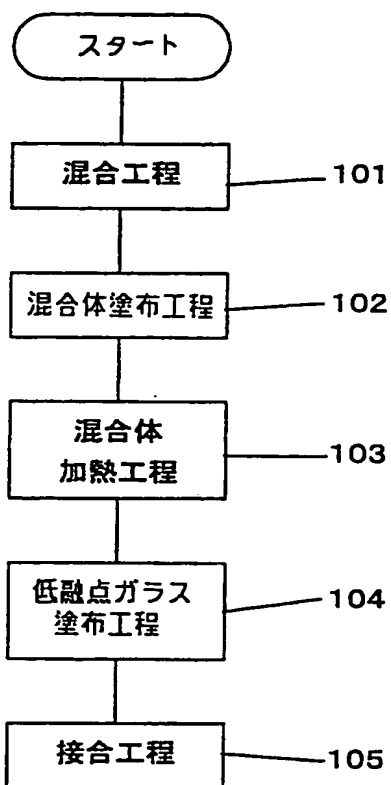


図 26



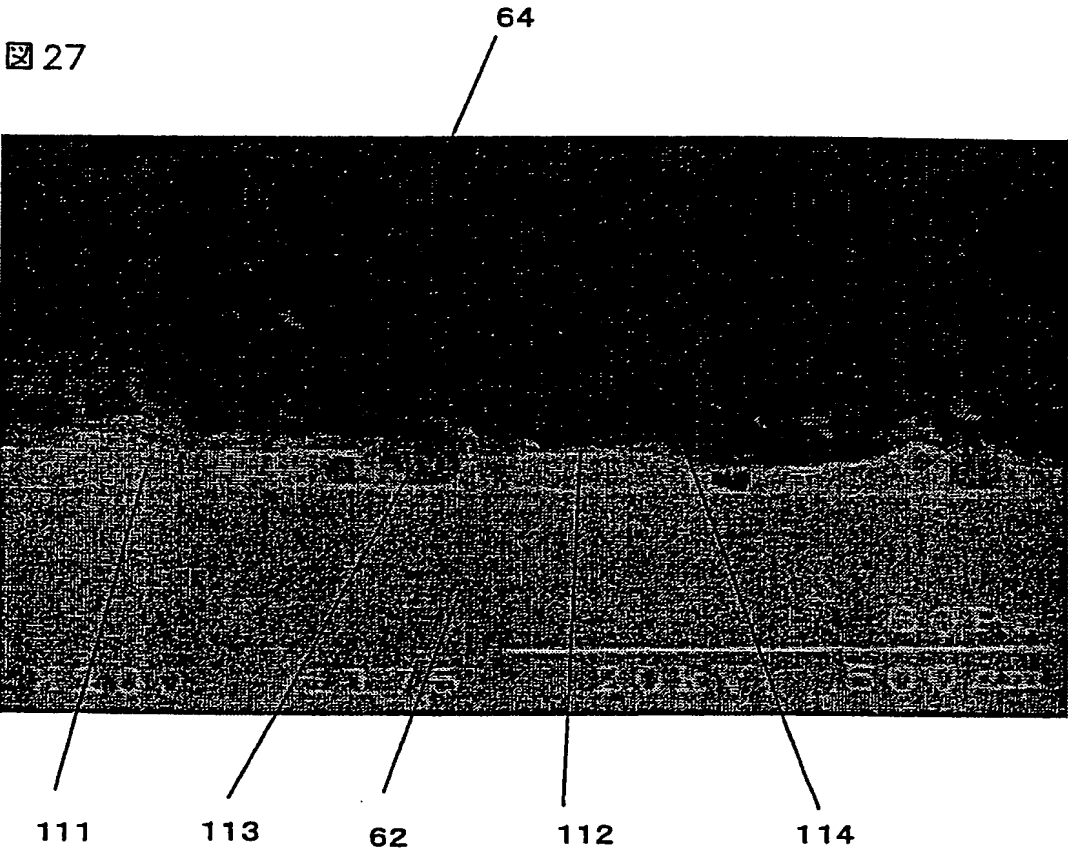




図 26

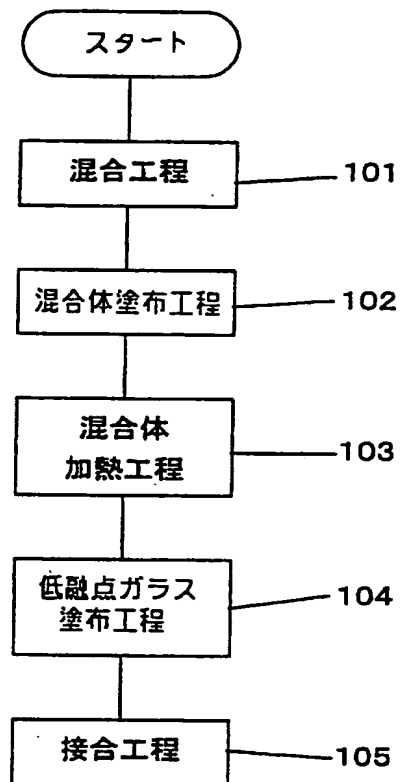


図 28A

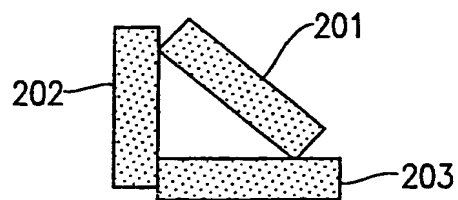


図 28B

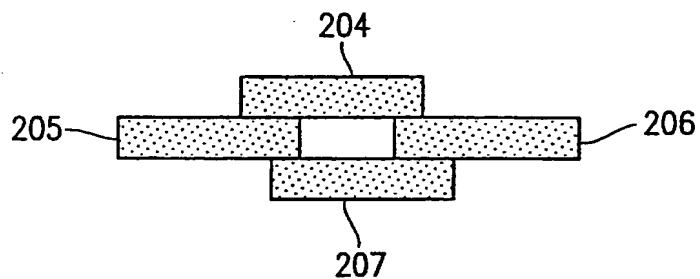


図 28C

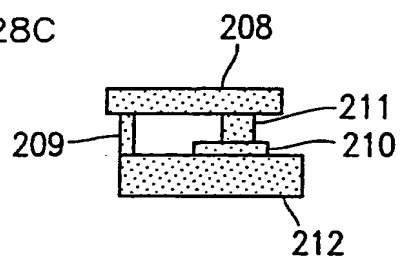


図 29

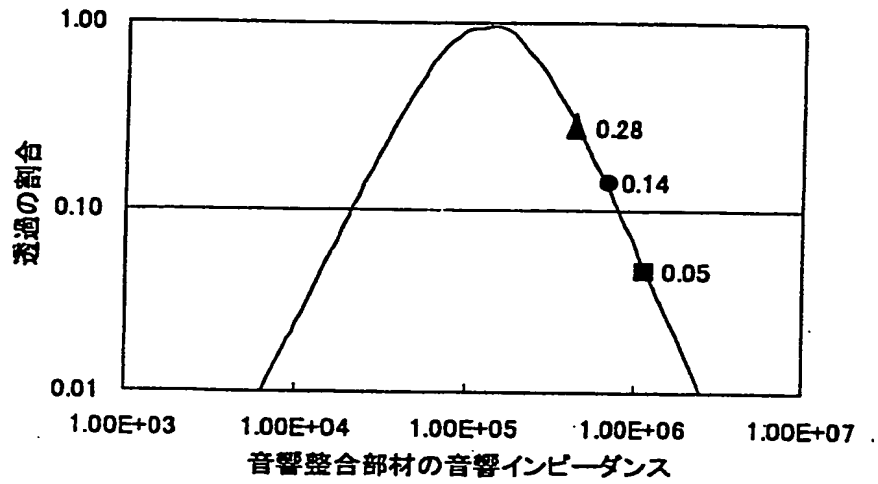
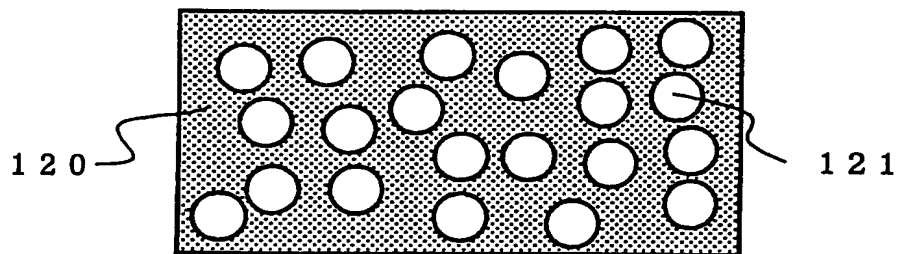


図 30



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/07981

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> H04R17/00, H04R29/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H04R17/00, H04R29/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US, 5375099, A (BRITISH GAS PLC), 20 December, 1994 (20.12.94), Column 1, lines 44 to 55; Column 3, lines 1 to 15; Fig. 5	1-9
Y A	JP, 3-295547, A (TOSHIBA CERAMICS CO., LTD.), 26 December, 1991 (26.12.91), page 2, upper right column, lines 6, 7 (Family: none)	1, 2, 4 13-24

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
22 January, 2001 (22.01.01)

Date of mailing of the international search report  
30 January, 2001 (30.01.01)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO0/07981

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>1</sup> H04R17/00, H04R29/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>1</sup> H04R17/00, H04R29/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-1999年

日本国登録実用新案公報 1994-1999年

日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US, 5375099, A (BRITISH GAS PLC) 20. 12月. 1994 (20. 12. 94) 第1欄44-5 5行、第3欄1-15行、第5図	1-9
Y	JP, 3-295547, A (東芝セラミックス株式会社) 26. 12月. 1991 (26. 12. 9 1) 第2頁右上欄6、7行 (ファミリーなし)	1, 2, 4 13-24
A		

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22. 01. 01

国際調査報告の発送日

30. 01. 01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

松澤 福三郎

5C

7254

電話番号 03-3581-1101 内線 3540

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ ~~FADED TEXT OR DRAWING~~
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**